

LES DIFFÉRENTES FRACTIONS HUMIQUES DE QUELQUES SOLS TROPICAUX DE L'OUEST AFRICAIN.

par

Ch. THOMANN*

I - INTRODUCTION

- 1 - But de l'étude
- 2 - Méthode utilisée
- 3 - Sols étudiés

II - ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DES DIFFERENTS TYPES DE SOLS

- 1 - Sols subarides tropicaux
 - a - sols bruns argileux
 - b - sols bruns sur sables
 - c - sols brun-rouge sur sables
- 2 - Sols ferrugineux tropicaux
 - a - sols ferrugineux tropicaux non lessivés
 - b - sols ferrugineux tropicaux lessivés (à taches et concrétions)
- 3 - Sols faiblement ferrallitiques

III - CONCLUSION

I - INTRODUCTION

1 - But de l'étude

Le rôle et l'importance de la matière organique dans les sols, et en particulier de l'humus, sont prouvés depuis longtemps ; aussi cette question est-elle de plus en plus étudiée, tant dans les pays tempérés que dans les pays tropicaux. Cependant dans ce dernier cas, peu d'études ont été entreprises jusqu'à présent, c'est pourquoi nous nous proposons d'apporter quelques précisions dans ce domaine.

* Chargée de recherches ORSTOM - Centre ORSTOM de Dakar-Hann (Sénégal)

D'une façon générale, parler d'humus dans les sols tropicaux semble à priori bien surprenant ; en effet, il est bien connu que dans les conditions climatiques des régions tropicales, la matière organique s'accumule difficilement, et le peu qui s'accumule est rapidement décomposé, sauf dans certains cas particuliers : une végétation largement développée, un matériau originel riche, permettent alors une accumulation relativement importante de la matière organique.

Cette étude a pour but de préciser quelques données concernant ce problème de la matière organique dans les sols tropicaux ; il s'agit plutôt d'une étude statique, n'ayant pas eu la possibilité de suivre l'évolution de la matière organique dans différents profils au cours des diverses saisons, sous des végétations variées. Nous avons voulu simplement éclaircir le problème de l'humus des sols tropicaux, en étudiant la composition de cet humus dans différents types de sols, et établir ainsi les différences ou analogies et relations entre ces types de sols, de ce point de vue.

Pour cela, nous avons utilisé une méthode analytique ayant déjà fait ses preuves, mais qui n'avait pas encore été appliquée aux sols tropicaux, tout au moins dans les domaines que nous nous proposons d'étudier (domaine subaride et domaine ferrugineux tropical). Cette méthode chimique de l'étude de l'humus est la méthode TIURIN, modifiée par P. DUCHAUFOR (9) ; elle nous permet d'obtenir cinq fractions humiques, par une extraction de plus en plus poussée de l'humus. On peut lui reprocher d'utiliser comme réactif d'extraction la soude, dont on connaît tous les inconvénients : ce réactif a malheureusement la propriété de "fabriquer" certains composés réducteurs à partir du matériel végétal non décomposé. Dans notre cas, nous pensons que cet inconvénient est mineur, du fait que l'on a affaire à des sols minéraux, et non à des sols organiques ; cette méthode est d'ailleurs parfaitement adaptée aux sols minéraux, dont elle extrait la presque totalité des composés humiques.

2 - Description de la méthode employée

Les différentes fractions humiques sont obtenues de la manière suivante :

- a - F_1 = **acides fulviques libres** : ils sont extraits par une solution acide (attaque directe du sol par SO_4H_2 0,5 N) ; "ces composés sont très solubles, ils ont des propriétés acides et attaquent les colloïdes minéraux, notamment les argiles qu'ils dégradent. Ils semblent constitués d'acides organiques et de composés phénoliques" (9). Ils seraient les premiers composés humiques formés en milieu acide par décomposition du matériel végétal, et apparaissent comme responsables du lessivage du fer et de l'argile, et de la podzolisation.
- b - F_2 = **acides fulviques liés aux acides humiques** : "il s'agit d'uronides, de polysaccharides en chaîne, adsorbés par les molécules d'acides humiques ; ils sont moins acides que les premiers, peu mobiles dans le sol et par conséquent, ils exercent peu d'action sur l'argile et le fer" (9). Ces composés fulviques seraient déjà plus polymérisés que les précédents, on les obtient par extraction à la soude diluée, en même temps que les acides humiques H_1 , H_2 et H_3 .
- c - H_1 = **acides humiques libres** : "incomplètement saturés, à petites molécules et faiblement liés aux molécules d'argile ; c'est la forme la plus mobile des acides humiques, celle qui donne la structure la moins stable" (9). Ils sont obtenus par attaque directe par la soude diluée et précipitation en milieu acide. Cette fraction comprendrait : les précurseurs des acides humiques (provenant de l'oxydation incomplète de la lignine ; complexes dispersés, migrant dans les podzols en entraînant le fer) et les acides humiques bruns proprement dits (dérivant de l'oxydation et de la transformation de la lignine ; composés relativement peu stables avec l'argile, pauvres en azote, flocculant lentement par le calcium, de couleur brun-rouge).
- d - H_2 et H_3 = **acides humiques gris** : ils dérivent de synthèse microbienne et sont liés intimement avec l'argile, formant un complexe argilo-humique très stable.

On peut distinguer :

- les acides humiques H₂, liés aux argiles par le Ca⁺⁺, composés très polymérisés, adsorbés par les colloïdes minéraux ; ils sont obtenus, après décalcification du sol, par solubilisation par la soude diluée.
- les acides humiques H₃, liés aux argiles par l'intermédiaire des sesquioxydes de Fe⁺⁺⁺ ou d'Al⁺⁺⁺, ils sont aussi très polymérisés et ne peuvent être extraits par la soude diluée, qu'après attaque partielle des molécules d'argile par SO₄H₂ à chaud. Lors de l'extraction elle-même des composés humiques, ce sont les plus difficiles à isoler, du fait de l'extrême dispersion de l'argile en cette phase finale de l'extraction, entravant alors le fractionnement.

La méthode employée est décrite en détail dans les méthodes analytiques du "Précis de Pédologie" de P. DUCHAUFOR (9), nous avons simplement modifié les prises d'essai, une prise de 1 g de sol étant très insuffisante pour les sols que nous avons analysés. Bien souvent une prise d'essai de 10 g et même 20 g était nécessaire, dans le cas de sols particulièrement pauvres en matière organique (sols bruns subarides sur sables, par exemple).

Cette méthode a donc été appliquée à un certain nombre de types de sols :

- sols subarides,
- sols ferrugineux tropicaux,
- et sols faiblement ferrallitiques.

Ces sols ont été prélevés dans trois pays de l'Afrique de l'Ouest : Mauritanie, Niger et Sénégal, à des latitudes comprises entre 13°N et 16°N. Les pluviométries sont très variables, allant de 250 à 1 500 mm, par contre les températures moyennes annuelles n'oscillent qu'entre 27°5 et 29°.

Nous avons analysé systématiquement les composés humiques de plusieurs profils de ces types de sols, afin de les différencier du point de vue de leur matière organique, et de là, en déduire si possible l'action de cette matière organique sur leur pédogenèse et leur évolution.

Nous étudierons donc successivement :

- les sols bruns subarides, dans lesquels nous distinguerons : les sols bruns sur matériaux plus ou moins argileux (ayant tendance à l'hydromorphie) et les sols bruns sur sables,
- les sols brun-rouge subarides,
- les sols ferrugineux tropicaux : non lessivés et lessivés,
- les sols faiblement ferrallitiques.

Pour ces deux derniers types de sols, il ne sera donné qu'une première approximation, basée sur l'étude de deux profils seulement pour chacun d'eux ; dans une étude ultérieure ces types seront repris.

Nous précisons que la dénomination de ces types de sols est tirée de : "la classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride" (1). Les prélèvements ont été effectués par les pédologues dont les noms suivent, lors de travaux de prospection et de cartographie :

- par P. AUDRY, pour les sols du Guidimaka (Mauritanie) (2), et pour les sols de Dahra (Sénégal) (3),
- par G. BOCQUIER et M. GAVAUD, pour les sols du Niger (5),
- par R. FAUCK et J.F. TURENNE, pour les sols de Casamance (Sénégal).

3 - Liste des profils étudiés

Les profils suivants ont été analysés :

1 - Sols bruns subarides argileux=ba

- M ba 1 = sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur schistes et matériau argilo-sableux, situé à mi-pente d'une pente douce ; pluviométrie : 600 mm environ. Savane arbustive très ouverte à *Acacia seyal* et *Balanites aegyptiaca* ; tendance à la pseudosteppe.
- M ba 2 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur schistes et matériau argilo-sableux, situé au sommet d'une pente très faible ; pluviométrie : 550 mm environ. Savane arbustive très ouverte.
- M ba 3 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur schistes, situé à mi-pente d'une longue pente faible et régulière ; pluviométrie : 550 mm environ. Savane arbustive ouverte à épineux (*Acacia senegal*).
- M ba 4 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur schistes, situé en bas de pente d'une pente très douce et très régulière ; phénomènes d'hydromorphie (origine pétrographique et topographique) ; pluviométrie : en moyenne 600 mm. Savane arbustive très ouverte (à *Acacia seyal*, *Combretum aculeatum*, *Balanites aegyptiaca*), strate herbacée à grandes andropogonées.
- M ba 5 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur schistes, situé à plat, avec une très légère pente vers l'ouest ; tendance à l'hydromorphie ; pluviométrie : 600 mm environ. Culture de mil.
- M ba 6 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur matériau argileux dérivé de schistes, situé sur une pente très faible ; pluviométrie : 600 mm environ. Savane à épineux (*Acacia seyal*).
- M ba 7 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), développé sur produits de recouvrement sablo-argileux, situé dans une vaste zone plane, à pente nulle ; pluviométrie : 500 mm environ. Pseudosteppe à *Combretum glutinosum*, *Acacia seyal*, etc., strate herbacée de *Schoenfeldia*.
- N ba 8 = Sol brun subaride de l'Ader Doutchi (Niger), sur matériau sablo-argileux, plus ou moins calcaire, situé sur un versant raviné ; pluviométrie : 400 mm environ. Formation dégradée à *Acacia radiana*.
- N ba 9 = Sol brun subaride de l'Ader Doutchi (Niger), sur sables hétérogènes argileux et calcaires, situé en bas de pente, drainé par une ravine ; pluviométrie : 400 mm environ. Formation dégradée à *Acacia radiana*.

2 - Sols bruns subarides sur sables=bs

- M bs 1 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur sables blancs, situé au sommet d'un faible vallonnement ; pluviométrie : 550 mm environ. Pseudosteppe à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à *Hyparrhenia*.
- M bs 2 = Sol brun subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur sables blancs, à action d'hydromorphie de profondeur, situé dans une vaste dépression à fond à peu près plat ; pluviométrie : 500 mm environ. Savane très ouverte à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à *Aristida tremula*.

- N bs 3 = Sol brun subaride de Seyam (Niger oriental), sur formation sableuse (sables fins bien triés) du cordon de Tal, situé en bordure d'une zone mamelonnée ; pluviométrie : 360 mm environ.
Formation contractée à *Acacia tortilis* et *Markouba*.
- N bs 4 = Sol brun subaride de Seyam (Niger oriental), sur formation sableuse du cordon de Tal (sables fins bien triés), situé sur un replat sommital ; pluviométrie : 360 mm environ.
Savane très lâchement arborée à *Faidherbia albida* et *Leptadenia spartium*.
- N bs 5 = Sol brun subaride de l'Ader Doutchi (Niger) sur sables jaunes enrichis en calcaire, situé en haut de pente ; pluviométrie : 400 mm environ.
Formation très dégradée à *Acacia radiana*.

3 - Sols brun-rouge subarides sur sables=br

- M br 1 = Sol brun-rouge subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur sables jaune-rouge, situé à mi-pente sur pente moyenne ; pluviométrie : 500 mm environ.
Pseudosteppe à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à *Aristida longistyla*.
- M br 2 = Sol brun-rouge subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur sables jaune-rouge, situé en haut de pente d'une pente à 10 % ; pluviométrie : 550 mm environ.
Pseudosteppe très lâche à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à grandes andropogonées.
- M br 3 = Sol brun-rouge subaride du Guidimaka (Mauritanie), sur sables, situé au sommet d'une butte sableuse ; pluviométrie : 600 mm environ.
Savane très ouverte à *Combretum glutinosum*.
- N br 4 = Sol brun-rouge subaride d'Eliki (Niger oriental), sur sables éoliens, situé sur un sommet aplani d'erg ancien fixé ; pluviométrie : 250 mm environ.
Steppe arbustive à *Commiphora africana*, tapis herbacé à *Cassia mimosoides*.
- N br 5 = Sol brun-rouge subaride de Gouré (Niger oriental) sur sables éoliens, situé en haut de pente ; pluviométrie : 400 mm.
Formation dégradée à *Acacia radiana*.
- N br 6 = Sol brun-rouge subaride de l'Ader Doutchi (Niger), sur sables éoliens, situé en bas de pente ; pluviométrie : 400 mm.
Savane lâchement arborée à *Combretum glutinosum*.

4 - Sols ferrugineux tropicaux non lessivés=ft

- M ft 1 = Sol ferrugineux tropical non lessivé ("dior") du Guidimaka (Mauritanie), sur sable jaune-rouge, situé sur un sommet de dune ; pluviométrie : 620 mm environ.
Savane ouverte à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à *Ctenium elegans*.
- M ft 2 = Sol ferrugineux tropical non lessivé du Guidimaka (Mauritanie), sur sables, situé sur la partie haute d'un faible vallonnement ; pluviométrie : 620 mm environ.
Savane à *Combretum glutinosum*.
- M ft 3 = Sol ferrugineux tropical non lessivé du Guidimaka (Mauritanie), sur sables, en situation de bon drainage d'un relief vallonné ; pluviométrie : 650 mm environ.
Savane à *Combretum glutinosum*.

- M ft 4 = Sol ferrugineux tropical non lessivé du Guidimaka (Mauritanie), sur produits de recouvrement sablo-argileux, situé sur un sommet de butte, dans une zone faiblement vallonnée ; pluviométrie : 650 mm environ.
Savane à *Combretum glutinosum*, tapis herbacé à grandes andropogonées.
- M ft 5 = Sol ferrugineux tropical non lessivé du Guidimaka (Mauritanie), sur sable jaune-ocre, situé en début de pente et en bordure d'une ravine d'érosion d'une zone assez vallonnée ; pluviométrie : 620 mm environ.
Savane à *Combretum glutinosum*, tapis herbacé à andropogonées.
- M ft 6 = Sol ferrugineux tropical non lessivé du Guidimaka (Mauritanie), sur produits de recouvrement sablo-argileux, avec phénomènes d'hydromorphie en profondeur, situé en zone plane en pente légère vers le N ; pluviométrie : 620 mm environ.
Savane assez dense à *Combretum glutinosum*, strate herbacée à grandes andropogonées et nombreuses *Boreria*.
- N ft 7 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Zinder (Niger oriental), sur sables quartzeux, situé à mi-pente d'une dune basse arrondie ; pluviométrie : 530 mm.
"Parc" anthropique à *Faidherbia albida*.
- N ft 8 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Dogo (Niger oriental), sur sables quartzeux, situé en zone haute d'un plateau sableux faiblement ondulé ; pluviométrie : 560 mm.
"Parc" anthropique à *Faidherbia albida*, à rejets d'*Hyphaene thebaïca*.
- N ft 9 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Tinkim (Niger oriental) sur sables quartzeux, situé au sommet d'une couverture sableuse faiblement ondulée ; pluviométrie : 630 mm.
Cultures avec réserve d'arbres isolés (*Faidherbia albida*).
- N ft 10 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Tinkim (Niger oriental), sur sables quartzeux, avec concrétionnement de nappe (et raies), situé sur un versant peu incliné d'une couverture sableuse faiblement ondulée avec dépressions colmatées ; pluviométrie : 630 mm.
Cultures avec réserve d'arbres isolés (*Faidherbia albida*).
- S ft 11 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Dahra (Sénégal), sur sables remaniés du Continental Terminal, situé à mi-pente d'une très légère pente ; pluviométrie : 520 mm.
Savane arbustive (groupement à *Andropogon pseudapricus*).
- S ft 12 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Dahra (Sénégal) sur sables remaniés du Continental Terminal, situé sur une faible pente d'une zone mollement vallonnée ; pluviométrie : 520 mm.
Savane arbustive (groupement à *Borreria stachydea*).
- S ft 13 = Sol ferrugineux tropical non lessivé de Dahra (Sénégal), sur sables remaniés du Continental Terminal, situé sur la partie basse d'une faible pente, d'une zone très faiblement vallonnée ; pluviométrie : 520 mm.
Savane arbustive (groupement à *Zornia*).

5 - Sols ferrugineux tropicaux lessivés (à taches et concrétions)=ftl

- S ftl 1 = Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions de Velingara (Casamance - Sénégal), sur sables argileux du Continental Terminal, situé sur pente très faible vers un marigot ; pluviométrie : 1150 mm.
Ancienne jachère formant savane arbustive (*Combretum glutinosum*, *Andropogon gajanus*).

S ftl 2 = Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions de Sefa (Casamance - Sénégal), sur sables et grès du Continental Terminal, situé sur un plateau central ; pluviométrie : 1 350 mm.
Jachère à graminées à côté de forêt à *Combretum* et *Cordyla*.

6 - Sols faiblement ferrallitiques = ff

S ff 1 = Sol faiblement ferrallitique rouge de Bignona (Casamance - Sénégal), sur sables argileux du Continental Terminal, situé sur un sommet de pente ; pluviométrie : 1 500 mm.

Forêt claire soudano-guinéenne moyennement dense.

S ff 2 = Sol faiblement ferrallitique rouge de Sefa (Casamance - Sénégal), sur sables argileux du Continental Terminal, situé en position de crête bien drainée (rebord de plateau) ; pluviométrie : 1 350 mm.

Forêt claire à tapis graminéen (*Parkia biglobosa*, *Daniella olivieri*).

Afin de pouvoir définir un profil moyen pour chaque type de sol, les moyennes ont été calculées pour chacun des facteurs (C total, H₁, H₂, H₃, F₁, et F₂) en fonction du nombre de profils d'un même type de sol, ces calculs étant basés sur le chiffre donné pour l'horizon (A, B ou C) et non par la profondeur.

Les pourcentages de chacune des fractions humiques sont donnés par rapport à l'humus total, afin d'accentuer les différences existant entre les divers types de sols, et d'éliminer les écarts importants dûs aux valeurs absolues, rendant les chiffres difficilement comparables entre eux.

Dans ce sens, les graphiques représentés sont établis de la manière suivante :

- Figure I = Carbone total en fonction de la profondeur, ramené à 100 par rapport à l'horizon de surface.
- Figure II = Les différentes fractions humiques en fonction de la profondeur, ramenées à 100 par rapport à l'humus total de chaque horizon.
- Figure III = Les différentes fractions humiques en fonction de la profondeur, ramenées à 100 par rapport à l'humus total de l'horizon de surface.
- Figure IV_a = Pourcentage des différentes fractions humiques par rapport à l'humus total, pour l'ensemble du profil moyen.
- Figure IV_b = Idem figure IV_a, groupé par fraction humique.
- Figure V = Proportions relatives des acides humiques et des acides fulviques pour chacun des types de sols (ensemble du profil).
- Figure VI = Proportions relatives des fractions hautement polymérisées et stables, et des fractions faiblement polymérisées et mobiles, pour chacun des types de sols (ensemble du profil).

II - ETUDE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DES DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS

I - LES SOLS BRUNS SUBARIDES

Ce groupe fait partie de la classe isohumique (ou steppique), caractérisée par une teneur progressivement décroissante de la matière organique très évoluée sur 30 cm. Il pourrait être également rattaché au groupe à humus évolué (ou mull). Nous verrons qu'effectivement cet humus est du type calcique, à composés humiques hautement polymérisés, indiquant une évolution très poussée.

Quoi qu'il en soit, ces sols bruns subarides tropicaux "comprennent l'ensemble des sols qui se développent, en position de drainage normal, dans les régions tropicales sèches à conditions d'aridité marquées, sous l'action principale de peuplements herbacés de type steppique. Leur morphologie de type AC est dominée par une pénétration homogène et profonde de matière organique humifiée à travers le profil" (6).

Nous rappellerons brièvement les caractéristiques générales de ces sols :

- différenciation du profil de type AC, sur une faible épaisseur (moins de 100 cm) ;
- coloration foncée des horizons, qui se maintient jusqu'au matériau originel ;
- horizon de surface généralement bien structuré ;
- présence fréquente, mais non constante de CO_3Ca en quantité variable (pseudo-mycelium, concrétions ou nodules) ;
- teneur en matière organique totale faible ($< 1\%$) ;
- individualisation du fer importante ;
- milieu généralement bien tamponné ;
- acidité = pH neutre à basique.

Suivant la nature du matériau originel, nous distinguerons :

- les sols bruns sur matériaux argileux ;
- les sols bruns sur sables.

a - Les sols bruns sur matériaux argileux

Nous avons étudié neuf profils de sols bruns de ce type, sept proviennent de Mauritanie (région du Guidimaka), les deux autres du Niger (région de l'Ader Doutchi). Ils sont tous situés à peu près à la même latitude : aux environs de 15° de latitude N ($14^\circ 47'$ à $15^\circ 55'$) pour une pluviométrie de 500 mm en moyenne (400 mm pour ceux du Niger, 550 et 600 mm pour ceux de Mauritanie), avec une température moyenne annuelle de 28° environ. Le climat est marqué par une longue saison sèche de 8-9 mois, et une période humide et chaude de 3-4 mois, pendant laquelle un tapis graminéen important se développe, qui se décomposera en cours de saison sèche pour donner de l'humus. Le matériau originel est composé de schistes, pour la plupart des sols du Guidimaka, et de sables argileux, parfois calcaires, pour les sols du Niger. Du point de vue textural, l'ensemble des profils est caractérisé par une teneur importante en éléments fins (argile + limon = 40 % en moyenne, avec une légère accumulation en profondeur s'élevant jusqu'à 50 %), le pH de ces sols est voisin de la neutralité en surface (6,5 à 6,9), et devient alcalin en profondeur (7,5 à 8,0), cette alcalinité étant due à la présence de calcaire. Topographiquement, ces profils sont souvent situés sur pente faible, mais aussi en bas de pente ; la végétation est du type savane arbustive très ouverte à épineux (*Acacia seyal*, *Acacia radiana*, etc.). La profondeur du profil est variable, voisine en général de 80 cm ; nous pouvons y distinguer quatre horizons :

- A₁ = horizon humifère de 20 cm environ ;
- A₂ = horizon un peu moins humifère (15 cm en moyenne) ;
- A₃ = horizon encore un peu organique, de 30 cm environ ;
- C = passage au matériau originel, vers 80 cm ;

répartis morphologiquement comme suit (exemple du profil M ba 1, de Mauritanie) (2)

- 0 - 25 cm Brun-jaune foncé, humifère, argilo-sableux ; structure lamellaire sur le premier centimètre, puis cubique assez fine ; la cohésion est forte, l'ensemble assez compact ; la porosité est assez faible, due à l'assemblage des mottes.
On note un bon enracinement et une activité biologique assez intense ; nombreuses concrétions brun-rouge, d'origine fossile.
- 25 - 50 cm Brun-jaune foncé un peu moins foncé ; argilo-sableux ; structure plus grossière à tendance polyédrique ; la cohésion est forte, la porosité assez faible, l'ensemble compact, quelques accumulations calcaires assez diffuses sous forme de petits amas blancs non durcis ; concrétions brun-rouge et noires (de Mn).

50 - 120 cm : Brun-olive, argilo-sableux ; grossièrement polyédrique, très compact, porosité nulle ; même concrétionnement ferromanganésifère ; accumulation calcaire plus dense : nombreuses petites concrétions atteignant 1 cm.

120 cm Passage progressif au matériau originel.

L'humus de chaque profil a donc été analysé par la méthode TIURIN, le carbone total étant déterminé par la méthode ANNE* ; tous les résultats concernant le carbone total et les fractions humiques sont exprimés en carbone ‰, ce qui permet de calculer aisément le taux d'humification :

$$\frac{\text{C ‰ des matières humiques totales (H}_1 + \text{H}_2 + \text{H}_3 + \text{F}_1 + \text{F}_2)}{\text{C total ‰}} \times 100$$

De l'examen des résultats analytiques (voir Tableaux I et IV), nous tirons les observations suivantes :

Carbone total = la teneur en matière organique est relativement élevée, compte-tenu des conditions climatiques ; elle décroît régulièrement, mais assez rapidement dans le profil : de 1,3 % en surface, elle passe à 0,8 % à 50 cm, et n'est plus que de 0,4 % à 80 cm. Cette matière organique peut donc s'accumuler, malgré une minéralisation très rapide, grâce au taux important d'éléments fins, sur lesquels elle se fixera, pour former un complexe argilo-humique très stable. Le rapport C/N indique une bonne décomposition de cette matière organique : il est de 12 en surface, le taux moyen pour le profil étant de 10.

Composés humiques = le taux d'humification est très élevé : 62 % en moyenne (56 % en surface, 68 % en profondeur), ce milieu est donc très favorable à l'humification qui, nous le supposons, doit s'effectuer sur place (au niveau des racines et radicelles) et non par migration des fractions humiques mobiles, puisque cet humus, comme nous allons le voir, est composé essentiellement de fractions très stables, fixées énergiquement sur le complexe minéral.

La fraction H₁ est très faible, et ne représente même pas 10 % de l'humus total en surface, et 3,6 % seulement pour l'ensemble du profil ; en milieu saturé, avec des pH neutres ou alcalins (A₁ = 6,8 ; A₂ = 7,1 ; A₃ = 7,5 ; C = 8,1 : calcaire en général), ces acides humiques ne peuvent se former, ou s'ils se forment et si on les considère comme les précurseurs des autres acides humiques, ils seraient très rapidement polymérisés en acides humiques gris.

Par contre la fraction H₂ (acides humiques liés au Ca⁺⁺) est très importante : près de 70 % de l'humus total pour l'ensemble du profil, avec un maximum dans l'horizon A₃. Le milieu étant calcique, donc largement saturé, ce sont ces acides humiques H₂ qui se formeront préférentiellement, aux dépens des H₁ ; ces H₂ se fixent sur la fraction argileuse, pour former un complexe argilo-humique très stable, qui annihile alors tout mouvement de lessivage. La matière organique se trouvant ainsi bloquée, sa minéralisation sera moins rapide, et grâce à ce mull calcique ainsi formé, ces sols disposeront d'une certaine réserve de bases échangeables, leur conférant alors une relative fertilité.

Quant aux acides humiques H₃, liés au fer et à l'alumine, ils n'entrent que pour 13,6 % dans le total de l'humus, la variation dans le profil est négligeable, le pourcentage étant légèrement plus élevé dans les horizons supérieurs.

Les acides fulviques F₁ sont en proportion très faible, 5 % dans l'ensemble du profil, étant très acides, ils ne peuvent se former dans un tel milieu ; ils correspondent vraisemblablement au premier stade d'humification de la matière organique en milieu acide.

Les acides fulviques F₂, liés aux acides humiques, représentant un degré de polymérisation supérieur aux F₁, sont en quantité un peu plus élevée (8 %), ils diminuent régulièrement dans le profil.

En conclusion, les sols bruns argileux sont caractérisés par une très grande proportion d'acides humiques gris ; le rapport moyen acides humiques/acides fulviques dans le profil est de 6,7, avec un maximum dans le deuxième horizon où les acides humiques se forment et s'accumulent ; on

* ANNE (P.) - Sur le dosage de la matière organique des sols. *Ann. Agron.*, 1945, p. 161.

Tableau I
Résultats analytiques des sols bruns argileux

Profils	Prof. cm	C total ‰	Humus total ‰	Humi- ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
<u>M ba 1</u>												
A ₁	0-25	7,07	4,02	56,9	0,16	2,38	0,92	0,18	0,38	14,7	6,8	40,5
A ₂	25-50	4,33	3,01	69,5	0,02	2,18	0,58	0,13	0,10	9,0	7,0	44,7
A ₃	50-120	3,63	2,63	72,5	0,03	1,91	0,42	0,12	0,15	8,8	7,5	46,5
C	> 120	2,93	2,23	76,1	0,03	1,63	0,26	0,11	0,20	8,6	8,0	48,2
<u>M ba 2</u>												
A ₁	0-25	4,86	2,36	48,6	0,18	1,42	0,37	0,21	0,18	10,2	6,3	32,3
A ₂	25-50	2,48	1,35	54,4	0,01	0,94	0,18	0,13	0,09	11,3	7,6	40,4
A ₃	50-85	2,09	1,12	53,6	0,01	0,79	0,13	0,08	0,11	11,6	8,0	42,4
C	> 85	1,73	0,78	45,1	0	0,53	0,09	0,07	0,09	9,6	8,1	43,4
<u>M ba 3</u>												
A ₁	0-45	7,33	4,55	62,1	0,08	3,24	0,85	0,17	0,21	12,3	6,7	51,4
A ₂	45-70	6,19	4,35	70,3	0,01	3,49	0,34	0,13	0,38	13,8	7,2	55,0
A ₃	70-90	5,20	3,57	68,7	0,01	2,97	0,24	0,11	0,24	13,0	7,8	55,7
C	> 110	1,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>M ba 4</u>												
A ₁	0- 5	11,07	6,02	54,4	0,44	3,36	0,84	0,27	1,11	13,7	6,5	49,7
A ₂	5-15	7,98	5,04	63,2	0,13	3,42	0,95	0,21	0,33	12,7	6,4	51,4
A ₃	15-50	6,85	4,72	68,9	0,06	3,75	0,48	0,11	0,32	10,2	7,4	56,5
C	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>M ba 5</u>												
A ₁	0-20	6,58	5,20	60,6	0,08	3,81	0,77	0,20	0,34	11,9	6,5	55,5
A ₂	20-30	7,44	4,79	64,4	0,04	3,87	0,45	0,18	0,25	11,8	6,3	57,2
A ₃	30-60	5,58	3,03	54,3	0,02	2,42	0,18	0,19	0,22	12,7	6,7	48,9
C	> 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>M ba 6</u>												
A ₁	0- 5	7,90	3,73	47,2	1,43	1,14	0,38	0,26	0,52	11,1	6,4	27,2
A ₂	5-20	6,10	3,53	57,9	0,42	1,70	0,74	0,21	0,46	10,0	7,4	47,2
A ₃	20-35	6,10	3,53	57,9	0,42	1,70	0,74	0,21	0,46	10,0	7,4	47,2
C	> 35	2,37	1,46	61,6	0,01	1,05	0,22	0,08	0,10	9,5	8,3	48,8
<u>M ba 7</u>												
A ₁	0-25	5,21	3,02	58,0	0,02	1,75	0,75	0,14	0,36	10,6	7,9	23,9
A ₂	25-45	3,65	2,27	62,2	0	1,66	0,29	0,15	0,17	9,9	8,2	23,4
A ₃	45-80	2,64	1,42	53,8	0,01	1,02	0,17	0,06	0,16	7,5	8,3	25,0
C	> 80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>N ba 8</u>												
A ₁	0- 9	6,37	3,79	59,5	0,04	2,99	0,30	0,15	0,31	10,8	7,1	37,5
A ₂	10-20	6,50	4,40	67,7	0,02	3,68	0,30	0,12	0,28	12,3	7,2	42,8
A ₃	60-70	5,36	3,87	72,2	0,01	3,28	0,30	0,12	0,16	12,8	7,1	43,5
C	> 80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>N ba 9</u>												
A ₁	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A ₂	0-10	4,27	3,00	70,3	0,04	1,90	0,77	0,11	0,18	-	6,9	37,0
A ₃	30-40	2,09	1,36	65,1	0,02	0,72	0,44	0,08	0,10	-	7,6	22,2
C	> 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

peut considérer que cette forme d'humus représente un stade ultime d'évolution, vue la prédominance des acides humiques gris. Les conditions climatiques et le milieu saturé sont vraisemblablement les principaux facteurs de polymérisation de l'humus (18) ; les processus de minéralisation et

d'humification de la matière organique sont activés par l'alternance des saisons = longue période sèche et chaude, courte saison des pluies ; d'autre part, dans ce milieu saturé, les fractions humiques acides ne peuvent se maintenir, et tout a tendance à évoluer en acides humiques gris (4), représentant alors plus de 80 % de l'humus total. On remarque d'ailleurs que la fraction humique libre ($H_1 + F_1 + F_2$) est très réduite par rapport aux fractions humiques liées à l'argile ($H_2 + H_3$), celles-ci entrant pour plus de 80 % dans l'humus total. Ceci confère à ces sols, outre une bonne structure, une certaine fertilité chimique, ce complexe argilo-humique pouvant libérer le cas échéant, les bases retenues.

La répartition des différentes fractions humiques dans ces neuf profils est relativement homogène. Nous remarquons, toutefois, que dans le cas du M ba 6, sol brun passant aux argiles noires et ayant nettement tendance à l'hydromorphie, les acides humiques H_1 sont en plus forte proportion ; nous supposons que l'hydromorphie peut retarder la polymérisation et favoriser la formation de ces H_1 , considérés en partie comme précurseurs des acides humiques gris.

b - Les sols bruns sur sables

Cinq profils ont été étudiés, deux du Guidimaka, trois du Niger : ils ont en commun le fait qu'ils sont formés sur sables. Les teneurs en éléments fins à l'intérieur du profil sont minimales : 2 % environ, sauf pour le profil N bs 5, formé sur sables calcaires légèrement argileux ; ils possèdent les mêmes caractéristiques que les sols bruns étudiés précédemment, entre autres un pH neutre à alcalin.

Au point de vue conditions climatiques, les sols du Guidimaka sont dans la zone 500-550 mm alors que ceux du Niger sont sous une pluviométrie moindre : 400 mm environ, avec une température moyenne annuelle de 28° ; leur position topographique est approximativement la même : en haut de pente, sauf le M bs 2 qui est situé dans une dépression, et de ce fait légèrement hydromorphe. La végétation est du type pseudosteppe à savane arbustive très ouverte (à *Acacia radiana*, *Acacia tortilis*, *Faidherbia albida*, etc..) ; ces sols bruns sur sablés sont un peu plus profonds que les sols bruns argileux, ils dépassent 1 mètre. Leur position géographique est peu différente des précédents : entre 13° et 16° de latitude N, climatiquement ils correspondent donc à la même zone que les bruns argileux, les exemples choisis s'étendant toutefois dans une zone un peu plus large.

Le profil M bs 1 du Guidimaka considéré comme sol brun sur sable typique (mais peu profond) se présente de la façon suivante : (2)

0 - 20 cm	Brun-gris foncé sableux, humifère ; structure nuciforme un peu anguleuse de taille moyenne ; cohésion faible, porosité assez faible, mais l'horizon est bien travaillé par les animaux (galeries) et les racines graminéennes denses.
20 - 40 cm	Brun-gris, encore humifère ; sableux ; structure nuciforme bien développée mais la cohésion passe à très faible ; porosité faible. On note de très nombreuses petites racines pénétrant bien les agrégats.
40 - 70 cm	Brun très clair passant progressivement à un sable blanchâtre. Présence de quelques racines peu nombreuses.
70 cm	Sable clair : matériau originel.

La matière organique de ces sols se répartit comme suit :

Carbone total : ces sols sont beaucoup moins riches en matières organiques que les précédents : 0,4 % seulement en surface, 0,15 % à 50 cm, pour tomber à 0,05 % en profondeur. Ce sont donc des sols très pauvres du point de vue organique ; le peu de matière organique qu'ils contiennent est bien évolué : les C/N sont de 10 en surface, 8,5 à 50 cm, puis 6 en profondeur ; proportionnellement aux sols bruns argileux, la quantité de matière organique totale diminue plus rapidement dans ces sols (figure 1).

On peut considérer que la minéralisation de la matière organique est plus rapide dans ces sols bruns sur sables que dans les sols bruns argileux, pour une même quantité de matériel végétal en décomposition ; le sol brun sur sable se dessèche plus vite, et cette dessiccation active les phénomènes-

Tableau II
Résultats analytiques des sols bruns sur sables

Profils	Prof. cm	C total ‰	Humus total ‰	Humification %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
<u>M bs 1</u>												
A ₁	0-20	3,66	1,97	53,8	0,51	0,75	0,26	0,09	0,36	10,5	7,5	2,4
A ₂	20-40	1,30	0,81	62,3	0,11	0,47	0,13	0,05	0,05	9,3	7,5	2,1
A ₃	40-70	0,52	0,38	73,1	0,02	0,24	0,04	0,03	0,05	6,5	7,4	2,0
C	>70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>M bs 2</u>												
A ₁	0-10	1,99	1,14	57,3	0,27	0,55	0,13	0,05	0,14	10,0	6,6	3,9
A ₂	10-30	1,40	0,88	62,9	0,16	0,46	0,11	0,05	0,10	8,7	6,5	5,6
A ₃	30-45	0,80	0,58	72,5	0,04	0,36	0,09	0,04	0,05	7,3	6,5	7,2
C	>100	0,31	0,27	87,0	0,02	0,17	0,03	0,02	0,03	5,2	6,5	2,0
<u>N bs 3</u>												
A ₁	0- 3	2,07	0,76	36,7	0,18	0,31	0,07	0,07	0,13	9,9	7,4	4,0
A ₂	3-10	1,12	0,53	47,3	0,06	0,34	0,04	0,05	0,04	8,0	7,9	3,8
A ₃	20-30	0,91	0,46	50,5	0,05	0,29	0,04	0,04	0,04	6,5	7,6	3,0
C	>85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>N bs 4</u>												
A ₁	0- 3	1,06	0,54	50,9	0,08	0,22	0,13	0,02	0,09	9,8	7,6	2,8
A ₂	3- 8	0,93	0,47	50,5	0,05	0,22	0,10	0,04	0,06	9,8	7,2	2,8
A ₃	8-20	0,88	0,45	51,1	0,04	0,22	0,09	0,05	0,05	9,8	7,0	2,8
C	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>N bs 5</u>												
A ₁	0-30	2,52	1,89	75,0	0,02	1,51	0,13	0,10	0,13	11,8	7,6	14,2
A ₂	40-60	1,62	1,13	69,8	0,01	0,81	0,11	0,06	0,14	11,6	7,9	12,5
A ₃	70-90	1,24	0,80	64,5	0,01	0,55	0,11	0,06	0,07	12,4	7,7	11,0
C	>90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

nes de minéralisation, ne laissant qu'une faible partie de la matière organique sous forme humifiée. Mais le peu qui reste est alors bien humifié, le milieu saturé et riche en Ca^{++} favorisant la polymérisation des composés humiques ; le taux d'humification est déjà de 56 % en surface, et de 60 % à 50 cm, l'humification est donc très bonne.

Composés humiques :

H₁ = Dans l'ensemble du profil, ces composés représentent 11 % de la totalité de l'humus, ce qui est encore très faible. Cependant ils sont trois fois plus importants proportionnellement que dans les sols argileux, ce qui laisse supposer un milieu légèrement plus acide, nécessaire à leur formation. Leur proportion décroît régulièrement dans le profil (17, 10, 6 et 7 %), on en trouve encore en profondeur, il est vrai en quantités infimes ; les sols formés sur sables calcaires sont très pauvres en H₁, le milieu calcique n'étant pas favorable à la formation et à la stabilité de ces acides humiques. Leur faible proportion ne peut être la cause de quelque lessivage, argile ou fer, le milieu sera stable, car les H₂ sont ici encore très importants.

H₂ = Comme on pouvait s'y attendre, ces acides humiques sont prédominants dans l'humus de ces sols bruns ; leur proportion moyenne dans le profil est de 60 % (53 % en surface, 63 % en profondeur). Ils sont liés à la fraction argileuse, ici très peu importante : 5 % en moyenne d'éléments fins, ce qui pourrait expliquer les très faibles valeurs absolues en matière organique de ces sols.

H₃ = Ces produits ne représentent que 12 % de l'humus total, comme pour les sols bruns argileux, ils ne paraissent pas être très typiques des différents groupes de sols. Leur variation est très faible en fonction de la profondeur, elle décroît régulièrement.

F₁ = Ces acides sont encore ici en très faible proportion, 6 % dans l'ensemble du profil, le milieu n'est absolument pas favorable à leur formation, ils sont vraiment en quantité presque négligeable.

F₂ = Ceux-ci sont un peu plus importants, 11 % de l'humus total, mais en valeur absolue, cela ne représente pas grand chose ; l'horizon A₁ en contient une certaine teneur, qui décroît rapidement avec la profondeur.

Nous revenons donc aux conclusions énoncées précédemment pour les sols bruns argileux ; la proportion d'acides humiques, donc de composés polymérisés est très nettement supérieure aux acides fulviques, puisque le rapport acides humiques/acides fulviques est encore de 4,6 pour l'ensemble du profil moyen, il varie peu d'ailleurs : de 4,3 en surface à 4,8 à 50 cm, c'est dire que les quatre cinquièmes de l'humus total de ces sols sont constitués d'acides humiques, ce qui confère à cet humus un haut degré d'évolution, tout à fait compatible avec les conditions du milieu.

La fraction libre (H₁ + F₁ + F₂) est aussi ici très faible par rapport à la fraction liée au complexe minéral, le rapport est de 2,5, il augmente en profondeur, si l'on considère le profil moyen.

En définitive, ces sols bruns formés sur matériaux sableux, sont tout à fait analogues, du point de vue constitution relative de la matière organique, aux sols bruns argileux, seule la fraction peu polymérisée (acides fulviques + H₁) est un peu plus importante dans ces sols sur sables (29 % contre 17 %) l'abaissement du pH par rapport aux sols argileux en est sans doute la cause. Ce qui les différencie très nettement, c'est la quantité totale de matière organique : elle est cinq fois plus importante dans les sols bruns argileux que dans les sols bruns sableux, mais du point de vue qualitatif, il n'y a pour ainsi dire pas de différence. Il paraît évident que, sous de telles conditions climatiques, dans un milieu sableux, donc très pauvre chimiquement, pour une végétation somme toute assez clairsemée (et soumise aux feux de brousse qui, chaque année, brûlent le tapis graminéen), l'accumulation de matière organique ne peut être qu'infime, et l'on ne s'étonnera pas des valeurs obtenues.

On peut donc conclure que ce milieu brun subaride conditionne un certain type de matière organique : bien humifiée, et à prédominance très nette d'acides humiques gris. Cependant ce type de sol n'est pas climacique, comme le signale R. MAIGNIEN : "les sols bruns dépendent étroitement de conditions particulières du milieu naturel (présence de calcaire, drainage déficient)", alors que les sols subarides brun-rouge au contraire, sont spécifiquement liés aux conditions climatiques (15).

c - Les sols brun-rouge subarides

Ils font encore partie du groupe des sols bruns subarides tropicaux, "dont les horizons humifiés, moins épais, à matière organique plus rapidement minéralisée, laissent apparaître en profondeur une coloration due à l'individualisation des sesquioxydes de fer" (6).

Ils sont caractérisés par :

- une épaisseur plus grande des profils (parfois 2 m) ;
- la présence de deux horizons distincts : un horizon de surface, humifère, d'au moins 50 cm d'épaisseur, de couleur gris-brun à brun ; un horizon rouge pouvant atteindre plus de 100 cm, dont la teinte rousse caractéristique provient, non pas d'une accumulation du fer, mais de la disparition de la matière organique en profondeur ;
- une structure des horizons superficiels légèrement feuilletée, puis souvent mal développée et instable ;
- une importante individualisation du fer ;
- une teneur en matière organique totale encore plus faible que celle des sols bruns (< 0,5 %), un rapport C/N < 10 ;

- un début de lessivage des bases ;
- un milieu souvent mal tamponné ;
- une acidité pH neutre à faiblement acide.

Les sols brun-rouge sont dominants pour les isohyètes comprises entre 500 mm et 350 mm, sur matériaux sableux acides, et en position de bon drainage (6).

Nous avons étudié la matière organique de six profils de sols brun-rouge : trois prélevés au Guidimaka (Mauritanie), les trois autres au Niger ; on observe ceux de Mauritanie pour des pluviométries plus importantes que ceux du Niger : 550 mm en moyenne, ce qui est limite pour ce type de sol, et 400 mm pour ceux du Niger. Ils sont tous formés sur sables, caractéristique générale des sols brun-rouge, qui sont des sols bien drainés ; une limitation du drainage peut conduire soit aux sols bruns, soit aux sols hydromorphes, une diminution générale des conditions d'aridité fait passer aux sols ferrugineux tropicaux. Les profils étudiés sont généralement situés en haut de pente ou à mi-pente, il s'agit le plus souvent de dune sableuse. La végétation caractéristique est une pseudo-steppe arbustive à *Commiphora*, ou une savane lâchement arborée à *Combretum glutinosum* ; ces profils sont assez profonds : 150 à 200 cm.

Dans un profil de sol brun-rouge, on peut distinguer :

- un horizon A₁ d'une vingtaine de cm, de couleur gris-brun humifère ;
 - un horizon que l'on peut dénommer A₂, de 20 à 40 cm environ, de couleur gris-roux, encore légèrement humifère, de texture sableuse.
- Ces deux horizons contiennent de nombreuses racines de graminées.
- un horizon de transition que nous appellerons A₃ de 40 cm environ, mais qui peut être beaucoup plus important : de couleur brun-rouge, souvent de structure nuciforme, cet horizon peut être légèrement durci ;
 - et, enfin, le passage progressif au matériau originel : de la couleur rouge on passe à l'ocre-jaune (entre 1 et 2 m de profondeur).

Le profil M br 2 typique, se présente de la manière suivante : (2)

0 - 25 cm	Brun foncé, humifère; sableux; structure grumeleuse à nuciforme (1 à 5 cm) ; cohésion faible ; la microporosité est assez faible, par contre la macroporosité est forte par suite d'une activité biologique intense, l'horizon est bien pénétré par les racines.
25 - 45 cm	Brun-brique, encore humifère; sableux ; la structure est toujours nuciforme; la cohésion faible et la porosité aussi.
45 - 80 cm	Brun-rouge; sableux ; structure nuciforme; la cohésion devient très faible.
80 cm	Sable rouge, devenant jaune-rouge.
vers 130 cm	Matériau originel.

De l'examen des résultats analytiques de la matière organique de ce type de sol, nous constatons les faits suivants (Tableaux III et IV) : en valeur absolue, ce sol est très pauvre : 0,35 % en surface, pour tomber à 0,1 % dans l'horizon de transition. Ce sol brun-rouge est encore plus pauvre en matière organique totale que le sol brun, bien que le tableau X montre que l'indice représentant la teneur globale soit un peu plus élevé dans le sol brun-rouge que dans le sol brun, ceci semble dû au simple fait que ce dernier est un peu moins profond.

Les C/N montrent que l'on a affaire à une matière organique très bien décomposée : 9,9 pour A₁, 7,5 pour A₂, 6,6 pour A₃, 5,1 pour le passage au matériau originel. En moyenne l'humification est bonne : 50 % en surface, pour monter à près de 60 % dans l'horizon rougi, elle était cependant un peu plus forte dans les sols bruns. Nous constatons que, pour l'ensemble des sols subarides, l'humification augmente en profondeur ; nous verrons qu'il n'en est pas de même dans le cas des sols ferrugineux tropicaux, et surtout des sols faiblement ferrallitiques. Nous supposons donc que pour les sols subarides, le milieu étant favorable à la synthèse de composés humiques stables, ceux-ci se minéraliseront sans doute beaucoup moins vite que d'autres composés à chaînes plus courtes ; alors qu'en milieu ferrugineux tropical et ferrallitique, l'humification se fait relativement bien en surface, mais elle diminue en profondeur car, vraisemblablement, les produits humiques formés sont peu stables et la minéralisation trop active.

Tableau III

Résultats analytiques des sols brun-rouge sur sables

Profils	Prof. cm	C total ‰	Humus total ‰	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
M br 1												
A1	0-20	1,74	0,93	53,4	0,23	0,33	0,10	0,09	0,18	10,0	7,5	1,1
A2	20-40	0,96	0,53	55,2	0,13	0,19	0,06	0,05	0,10	8,0	7,3	1,5
A3	40-90	0,70	0,43	61,4	0,06	0,23	0,05	0,06	0,03	5,4	7,0	2,2
C	> 90	0,59	0,32	54,2	0,02	0,15	0,06	0,04	0,05	5,9	7,2	2,5
M br 2												
A1	0-25	2,03	1,04	51,2	0,31	0,37	0,15	0,09	0,12	7,8	6,9	1,5
A2	25-45	0,96	0,56	58,3	0,08	0,30	0,08	0,06	0,04	6,9	6,9	3,2
A3	45-80	0,57	0,40	70,2	0,02	0,26	0,06	0,03	0,03	5,2	7,3	3,0
C	> 80	0,34	0,18	52,9	0,01	0,08	0,03	0,03	0,03	4,3	7,2	2,8
M br 3												
A1	0-20	2,48	1,31	52,8	0,46	0,44	0,17	0,09	0,15	13,1	6,8	4,0
A2	30-50	1,90	1,03	54,2	0,11	0,59	0,17	0,08	0,08	7,3	6,9	9,3
A3	80-90	1,14	0,63	55,3	0,02	0,40	0,11	0,05	0,05	8,8	7,1	11,8
C	> 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N br 4												
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	0-30	0,79	0,35	44,3	0,07	0,08	0,06	0,05	0,09	7,0	7,5	7,9
A3	70-90	0,44	0,24	48,0	0,04	0,08	0,06	0,04	0,02	5,5	7,0	8,8
C	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N br 5												
A1	0-5	1,72	0,74	43,5	0,20	0,21	0,14	0,06	0,13	8,6	7,0	3,5
A2	5-35	0,86	0,43	50,0	0,06	0,17	0,09	0,04	0,07	7,4	6,9	3,2
A3	40-60	0,51	0,30	60,0	0,04	0,12	0,05	0,04	0,05	6,4	6,9	2,8
C	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N br 6												
A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	0-10	0,83	0,46	55,4	0,13	0,13	0,05	0,05	0,10	8,3	7,5	2,5
A3	30-40	0,64	0,39	60,9	0,07	0,13	0,05	0,06	0,08	8,0	6,9	3,0
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Le sol brun-rouge parfaitement drainé n'a pas la possibilité de retenir les composés humiques formés, le complexe argilo-humique étant de très faible importance. L'accumulation organique ne peut donc se faire dans ces sols, par suite de leur texture et des conditions climatiques, sans compter les feux de brousse qui leur enlèvent annuellement une réserve importante de débris organiques.

Examinons de plus près, malgré sa très faible valeur, la constitution de cet humus.

H₁ : ils prennent un peu plus d'importance dans ce type de sol que dans les sols bruns : dans le profil ils représentent en moyenne 17,5 % de l'humus total (30 % en surface, et encore 10 % à 1 m de profondeur).

H₂ : ils sont toujours prédominants, c'est une des caractéristiques des sols subarides, mais déjà beaucoup moins que dans les sols bruns : 43 % en moyenne pour l'ensemble du profil (30 % en surface, 50 % en profondeur), on les retrouve assez profondément, ils ne diminuent que très lentement dans le profil, contrairement aux H₁. Le milieu neutre et saturé est encore favorable à la formation de ces acides humiques, c'est dire que nous ne pensons pas que la matière organique conditionne ces milieux subarides, elle ne nous apparaît que comme une conséquence du milieu dans lequel elle se forme.

H₃ : ceux-ci sont relativement constants dans le profil : 15 % environ de l'humus total, leur diminution avec la profondeur est progressive.

Les F₁ prennent un peu plus d'importance dans ces sols-là, 11 % pour l'ensemble du profil, leur proportion relative augmente régulièrement avec la profondeur (de 8 à 15 %), très mobiles ils peuvent migrer dans le profil.

Quant aux F₂, ils sont aussi en proportion plus importante que dans les sols bruns, et leur proportion est relativement constante dans le profil : 13 % environ.

Tableau IV

Teneurs moyennes et pourcentages des différentes fractions humiques, des sols subarides

Type de sol		Prof. cm	C total ‰	M H ‰	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
Sol brun subaride argileux	A1	0-20	7,30	4,09	56,0	0,30	2,51	0,65	0,20	0,43	11,9	6,8	39,8
	A2	20-30	5,44	3,53	64,9	0,08	2,54	0,51	0,15	0,25	11,4	7,1	44,3
	A3	30-80	4,39	2,80	63,8	0,07	2,06	0,34	0,12	0,21	10,8	7,5	43,3
	C	> 80	2,19	1,49	68,0	0,01	1,07	0,19	0,09	0,13	9,2	8,1	46,8
	A1			100		7,3	61,4	15,9	4,9	10,5			
	A2			100		2,3	72,0	14,4	4,2	7,1			
	A3			100		2,5	73,6	12,1	4,3	7,5			
	C			100		0,7	71,8	12,8	6,0	8,7			
Sol brun subaride sur sables	A1	0-15	2,26	1,26	55,8	0,21	0,67	0,14	0,07	0,17	10,4	7,3	5,5
	A2	15-30	1,27	0,77	60,6	0,08	0,46	0,10	0,05	0,08	9,5	7,4	5,4
	A3	30-55	0,87	0,52	59,8	0,03	0,33	0,07	0,04	0,05	8,5	7,2	5,2
	C	>100	0,31	0,27	87,0	0,02	0,17	0,03	0,02	0,03	5,2	6,5	2,0
	A1			100		16,7	53,2	11,1	5,5	13,5			
	A2			100		10,4	59,7	13,0	6,5	10,4			
	A3			100		5,8	63,4	13,5	7,7	9,6			
	C			100		7,4	63,0	11,1	7,4	11,1			
Sol brun-rouge subaride	A1	0-20	1,99	1,01	50,8	0,30	0,34	0,14	0,08	0,15	9,9	7,1	2,5
	A2	20-30	1,05	0,57	54,3	0,10	0,24	0,09	0,06	0,08	7,5	7,2	4,6
	A3	30-95	0,67	0,39	58,2	0,04	0,20	0,06	0,05	0,04	6,6	7,0	5,3
	C	115	0,47	0,27	57,4	0,02	0,12	0,05	0,04	0,04	5,1	7,2	2,7
	A1			100		29,7	33,7	13,9	7,9	14,8			
	A2			100		17,6	42,1	15,8	10,5	14,0			
	A3			100		10,3	51,3	15,4	12,8	10,2			
	C			100		7,4	44,5	18,5	14,8	14,8			

Ainsi, nous observons par rapport aux sols bruns : une augmentation de la teneur en acides fulviques (plus importante pour F₁ que pour F₂), en acides humiques H₁ et aussi en H₃, une diminution de la teneur en acides humiques H₂. Le rapport AH/AF pour les sols brun-rouge est donc inférieur à celui des sols bruns : 3,2 pour l'ensemble du profil. Ce rapport est à peu près constant dans le profil, il y a donc encore dans ces sols trois fois plus d'acides humiques que d'acides fulviques, c'est dire que les AH représentent encore les 3/4 de l'humus total.

Nous remarquons que ce rapport augmente souvent dans le deuxième horizon où la néosynthèse d'acides humiques gris est prédominante.

D'autre part, on constate que le rapport formes liées/formes libres a lui aussi diminué, il n'est plus que de 1,4 pour l'ensemble du profil ; il augmente avec la profondeur, donc les fractions humiques libres se forment essentiellement en surface, et diminuent plus vite dans le profil que les fractions humiques liées, lesquelles sont plus stables, et arrivent à se maintenir dans de telles conditions climatiques.

Ces sols brun-rouge ont un pourcentage un peu moins important d'acides humiques H₂, nous supposons que cela est dû au fait que le milieu est moins saturé en Ca que les sols bruns ; ils ont donc une proportion plus grande d'éléments humiques mobiles. Nous allons voir que cette tendance va s'accroître pour les sols ferrugineux tropicaux, car nous abordons alors un milieu acide et des plusviométries plus élevées.

Ces sols brun-rouge sont donc caractérisés par une teneur en matière organique très faible, mais cette matière organique est bien décomposée ; l'humus comprend une quantité importante d'acides humiques H₂, particularité des sols bruns subarides, chez lesquels les acides humiques dominent toujours, donnant un complexe argilo-humique très stable, qui empêche ainsi tout phénomène de lessivage. Les acides fulviques sont en proportion un peu plus élevée que dans les sols bruns, ainsi que les acides humiques H₁, ce qui est en accord avec les observations de R. MAIGNIEN (15) qui remarquait dans ces sols "la formation d'une certaine quantité de produits organiques acides". Mais nous n'observons pas comme cet auteur "une tendance à une légère acidification en surface", provoquée par ces produits organiques ; nous constatons que les pH de ces sols brun-rouge sont identiques (neutres ou légèrement alcalins) à ceux des sols bruns.

Cette petite différence dans la composition de l'humus entre les sols bruns et les sols brun-rouge serait peut-être attribuable à la nature de l'argile de ces sols, qui pourrait orienter la synthèse de certains produits humiques (13). En présence de montmorillonite (cas des sols bruns), cette synthèse aboutirait à la formation de produits très évolués, les acides humiques gris H₂ ; dans les sols brun-rouge, où vraisemblablement il y a apparition de kaolinite, cette synthèse serait moins poussée, et l'on aurait davantage de composés fulviques et d'acides humiques bruns.

2 - LES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

Ces sols sont compris dans la classe des sols à hydroxydes individualisés et matière organique fortement minéralisée. "On y observe une forte individualisation du fer et du manganèse qui se mobilisent avec facilité et amènent la formation d'un horizon B ferruginisé. La néosynthèse argileuse est peu intense et du type kaolinitique, on n'observe pas d'altération du quartz. Ils se caractérisent par une minéralisation extrêmement rapide des produits organiques facilement décomposables qui leur donnent une fertilité spontanée élevée, mais les réserves étant très faibles, ces sols se dégradent très rapidement. L'horizon A₁, dont l'épaisseur excède rarement 25-30 cm se trouve, sous les conditions naturelles, assez fortement coloré en gris par un mélange de produits de synthèse clairs et des matériaux résiduels plus nombreux acides, de couleur foncée. La capacité d'échange des sols ferrugineux tropicaux est faible, inférieure à 5 m.éq. % ; le pH est toujours légèrement acide de l'ordre de 6,0-6,5 en saison sèche, l'acidité est essentiellement organique.

Ces sols correspondent au climax des régions soudanaises, ils se développent entre les isohyètes 500 et 1 200 mm ; le régime des précipitations du milieu tropical provoque des variations brutales du profil hydrique des sols en cours d'année. Il y a excès d'humidité en saison des pluies avec apparition de phénomènes de réduction, et un déficit excessif en saison sèche avec prédominance des phénomènes d'oxydation. Ces variations brutales du potentiel d'oxydo-réduction favorisent le lessivage de l'argile, la redistribution des sesquioxydes, ainsi que la formation de produits organiques résiduels et de synthèse. Les sols ferrugineux tropicaux sont normalement bien drainés au moins dans leurs horizons de surface, ils sont typiquement associés à des peuplements de savanes climaciques.

Ils se différencient par le degré de lessivage des colloïdes minéraux. Leur accumulation en profondeur interfère sur la pédogenèse.

On distingue :

- les sols ferrugineux tropicaux non lessivés, où l'argile ne migre pratiquement pas ;
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés, qui possèdent un horizon d'accumulation argileuse en profondeur (R. MAIGNIEN - 16).

a - Les sols ferrugineux tropicaux non lessivés

Ils ont un profil assez profond, 2 m en général, du type A-B-C.

Horizon A₁ : horizon de surface, légèrement enrichi en matière organique sur une épaisseur de 15 cm environ, de couleur grisâtre, sableux, faiblement structuré ;

Horizon A₂ : horizon plus clair, brun-ocre, très faiblement structuré de 25 cm d'épaisseur environ ;

Horizon B : un peu plus épais, de couleur plus rouge, due à une accumulation diffuse du fer, peu structuré, fréquemment durci à l'état sec.

Passage au matériau originel (C), qui est en général, dans le cadre de cette étude, un sable plus ou moins jaune.

Nous avons étudié 13 profils de ce type de sol : six proviennent de Mauritanie, quatre du Niger et trois du Sénégal. Ces profils sont compris entre les isohyètes 520 et 650 mm, ils sont tous formés sur sables. La végétation qui les recouvre est du type savane ouverte à *Combretum* pour ceux de Mauritanie, parc anthropique à *Faidherbia*, ou cultures avec arbres isolés, pour ceux du Niger ; ceux du Sénégal sont sous groupement à *Zornia*. On les trouve en général, soit au sommet de butte, ou à mi-pente d'un faible vallonnement ; leur profondeur n'est pas très importante, 1 à 2 m.

Un sol "dior" typique du Sénégal se présente ainsi : (profil S ft 13) (P. AUDRY - 3)

- | | |
|-------------|---|
| 0 - 6 cm | Brun-gris assez soutenu ; sableux à sables très fins dominants, plus quelques sables grossiers souvent rougis mais d'aspect lavé ; structure à légère tendance lamellaire tout en surface, puis tendance nuciforme assez nette ; cohésion très faible, porosité très faible ; |
| 6 - 20 cm | Beige ; même texture, les sables grossiers, analogues à ceux décrits, apparaissant fréquemment par plages ; structure de même type un peu plus anguleuse ; cohésion faible, léger début de cimentation ; même porosité ; |
| 20 - 36 cm | Transition, brun ocre ; mêmes autres caractères que l'horizon précédent ; |
| 36 - 67 cm | Jaune-rouge ; texture plus typiquement sableuse par la présence de sables plus grossiers, plus anguleux ; même structure et cohésion, un peu plus poreux ; |
| 67 - 120 cm | Jaune-rouge un peu plus jaune ; texture restant sableuse mais nettement continental terminal ; structure plus développée, peu anguleuse, plus meuble, cohésion moindre ; même porosité fine. |

La densité des racines est faible sur l'ensemble du profil.

Du point de vue matière organique, nous faisons les observations suivantes : (Tableaux V, VI et IX).

Carbone total : la teneur en matière organique totale de ces sols essentiellement sableux est très faible : 0,35 % en surface, 0,20 % dans l'horizon rougi B ; la courbe générale de répartition de la matière organique dans le profil ne diffère pas beaucoup de celle obtenue pour les sols brun-rouge (voir figure I). Il faut faire remarquer que dans le cas de ces sols sableux, extrêmement pauvres en matière organique, il est difficile d'avoir des profils très différenciés. Cette matière organique est bien décomposée, le rapport C/N n'atteint pas 10 en surface, et décroît très progressivement avec la profondeur.

Matières humiques : le taux d'humification est encore relativement élevé dans ces sols : 51 % en surface, c'est dire que le milieu est favorable à la synthèse de produits humiques, 58 % dans l'horizon A₂, puis contrairement aux sols subarides, au lieu de continuer à croître, ce taux retombe à 54 % puis à 49 %. L'humification se fait donc un peu moins bien dans l'horizon B, où l'on peut observer une légère accumulation de fer, et un pH plus acide qui limite sans aucun doute la polymérisation des composés humiques.

Tableau V
Résultats analytiques des sols ferrugineux tropicaux non lessivés 1

Profils	Prof. cm	C total %	Humus total %	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
<u>M ft 1</u>												
A ₁	0-20	2,10	1,07	51,0	0,49	0,18	0,10	0,14	0,16	9,5	5,8	5,7
A ₂	20-35	1,62	0,89	54,9	0,49	0,05	0,08	0,15	0,12	8,5	5,0	10,5
B	35-85	1,11	0,56	50,5	0,10	0,11	0,08	0,11	0,16	6,9	4,9	11,2
C	> 85	0,71	0,31	43,7	0,04	0,05	0,05	0,07	0,10	6,5	5,0	9,8
<u>M ft 2</u>												
A ₁	0-20	2,54	1,35	53,1	0,61	0,39	0,13	0,11	0,11	11,5	6,6	3,5
A ₂	30-45	1,51	0,88	58,3	0,34	0,28	0,08	0,09	0,09	8,4	6,6	6,2
B	45-80	1,36	0,77	56,6	0,30	0,21	0,08	0,08	0,10	8,2	6,4	6,7
C	100	1,21	0,65	53,7	0,25	0,14	0,08	0,06	0,12	8,1	6,3	7,2
<u>M ft 3</u>												
A ₁	0-15	3,07	1,80	58,6	0,83	0,49	0,17	0,12	0,19	10,2	6,5	3,8
A ₂	15-50	1,14	0,65	57,0	0,21	0,21	0,09	0,09	0,05	7,6	6,4	4,7
B	50-110	0,90	0,44	48,9	0,05	0,12	0,07	0,07	0,13	6,0	6,5	6,3
C	> 110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>M ft 4</u>												
A ₁	0-20	2,14	1,24	57,9	0,70	0,11	0,10	0,14	0,19	10,7	5,5	7,0
A ₂	20-40	1,57	0,99	63,1	0,44	0,19	0,11	0,15	0,10	9,8	5,2	9,2
B	40-50	2,00	1,09	54,5	0,44	0,13	0,17	0,29	0,06	8,7	4,8	24,8
C	50-115	1,18	0,69	58,5	0,19	0,06	0,12	0,11	0,21	6,6	4,9	25,5
<u>M ft 5</u>												
A ₁	0-10	3,36	1,33	39,6	0,63	0,11	0,12	0,24	0,23	9,3	5,9	3,4
A ₂	10-50	1,16	0,79	68,1	0,42	0,07	0,07	0,13	0,10	8,3	5,4	6,0
B	50-70	1,49	0,80	53,7	0,15	0,17	0,11	0,15	0,22	7,1	4,8	13,5
C	70-80	1,39	0,66	47,5	0,12	0,11	0,11	0,15	0,17	7,3	4,9	14,3
<u>M ft 6</u>												
A ₁	0-20	2,38	1,33	55,9	0,51	0,35	0,12	0,10	0,25	10,8	5,5	8,7
A ₂	20-30	2,49	1,43	57,4	0,39	0,47	0,14	0,15	0,28	11,9	5,3	13,7
B	30-80	2,44	1,37	56,1	0,15	0,37	0,34	0,22	0,29	-	4,9	24,5
C	> 80	1,42	0,54	38,0	0,01	0,11	0,19	0,11	0,12	-	4,8	34,0
<u>N ft 7</u>												
A ₁	0-15	1,05	0,40	40,0	0,13	0,06	0,06	0,05	0,10	5,8	5,6	3,2
A ₂	15-40	0,85	0,35	41,2	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	5,4	5,4	5,2
B	40-60	0,65	0,29	41,4	0,07	0,04	0,04	0,05	0,09	5,0	5,3	7,2
C	85-105	0,50	0,22	44,0	0,05	0,01	0,06	0,05	0,05	4,5	5,8	7,3

H₁ = Leur formation est ici favorisée par un pH acide ; en surface, ils représentent près de la moitié de l'humus total, ce qui est bien différent des sols subarides, puis cette proportion passe de 45 à 40 %, et en B n'est plus que de 26 % ; ces acides humiques bruns sont très mobiles, et migrent facilement à l'intérieur du profil, ils peuvent donner avec le fer des complexes instables, et seraient responsables d'un léger entraînement du fer.

H₂ = Leur proportion est bien moindre que dans les sols subarides : 19 % seulement pour l'ensemble du profil, le milieu acide n'est plus favorable à leur formation, les ions Ca⁺⁺ ne sont pas en quantité suffisante pour bloquer les colloïdes humiques. Leur taux décroît régulièrement dans le profil, et leur proportion par rapport aux autres fractions humiques est relativement constante ; il semble donc, en accord avec ce que nous avons vu précédemment que ces acides humiques H₂ une fois formés, soient moins sensibles à la décomposition comparativement aux autres fractions humiques, moins polymérisées.

Tableau VI

Résultats analytiques des sols ferrugineux tropicaux non lessivés 2

Profils	Prof. cm	C total %	Humus total %	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
N ft 8												
A1	0-15	0,86	0,43	50,0	0,09	0,15	0,06	0,04	0,09	7,2	6,0	1,8
A2	25-40	0,81	0,50	61,7	0,05	0,25	0,08	0,04	0,08	7,4	5,7	5,0
B	80-95	0,64	0,38	59,4	0,02	0,22	0,08	0,03	0,03	8,0	6,2	3,8
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ft 9												
A1	2-10	1,24	0,69	55,6	0,23	0,20	0,10	0,05	0,11	10,3	6,3	3,0
A2	30-85	0,92	0,56	60,9	0,07	0,26	0,09	0,04	0,10	10,2	5,9	5,1
B	95-115	0,47	0,33	70,2	0,01	0,20	0,07	0,04	0,01	-	6,3	4,8
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ft 10												
A1	15-25	1,32	0,74	56,1	0,17	0,28	0,10	0,05	0,14	10,2	6,2	3,3
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	120-130	0,35	0,18	51,4	0	0,10	0,05	0,02	0,01	-	6,7	5,0
S ft 11												
A1	0-10	2,25	1,10	48,9	0,60	0,02	0,09	0,13	0,26	9,8	5,7	6,0
A2	15-45	1,56	0,88	56,4	0,49	0	0,07	0,12	0,20	9,4	5,1	8,9
B	70-80	0,89	0,44	49,4	0,16	0	0,07	0,09	0,12	6,8	4,9	10,5
C	100-110	0,78	0,36	46,2	0,12	0	0,06	0,07	0,11	6,5	4,9	12,0
S ft 12												
A1	0-15	2,31	1,09	47,2	0,60	0,03	0,09	0,13	0,24	11,0	5,7	4,0
A2	15-25	1,25	0,77	61,6	0,44	0	0,05	0,10	0,18	8,9	5,6	4,3
B	25-60	0,98	0,57	58,2	0,27	0	0,05	0,10	0,15	8,9	5,4	6,5
C	100-120	0,62	0,29	46,8	0,10	0	0,04	0,06	0,09	6,2	5,3	6,5
S ft 13												
A1	0-6	3,14	1,49	47,5	0,72	0,12	0,15	0,12	0,38	10,1	6,2	3,3
A2	10-35	1,16	0,64	55,2	0,31	0,04	0,07	0,08	0,14	8,5	5,8	4,4
B	40-55	0,87	0,49	56,3	0,20	0,04	0,06	0,09	0,10	7,9	5,2	6,3
C	90-120	0,66	0,31	47,0	0,11	0,01	0,05	0,06	0,08	5,5	5,1	6,8

H₃ = Ceux-ci sont toujours proportionnellement à peu près équivalents malgré les types de sols variés : 13 % pour celui-ci ; leur proportion relative augmente un peu en profondeur, ce qui semblerait indiquer qu'ils sont plus étroitement liés avec le fer dans les horizons B.

F₁ = Pour l'ensemble du profil, ils se chiffrent à 15 %, ils sont en augmentation par rapport aux sols précédemment étudiés ; leur taux relatif s'accroît en profondeur : de 10 % en surface, celui-ci passe à 19 % en profondeur, ces acides fulviques sont très mobiles et peuvent très facilement migrer

F₂ = Ils atteignent presque 20 % (de 18 à 26 %), il s'en forme donc plus qu'en milieu subaride, et pourtant les conditions climatiques ne sont pas très différentes, seul le milieu pourrait expliquer ces variations : pH différent, formation d'argiles et complexe argilo-humique différents.

On remarque donc pour ce type de sol, une répartition différente de l'ensemble des fractions humiques par rapport aux sols subarides (voir figures II et III). Le rapport acides humiques/acides fulviques diminue et n'est plus que de 2,0 (figure IV), la fraction humique étant constituée pour plus de la moitié en acides humiques bruns. La fraction mobile constituée par les acides fulviques et les acides humiques bruns est très importante comparativement aux composés stables : H₂ et H₃ ; donc, le passage des sols subarides aux sols ferrugineux tropicaux s'effectue par une diminution des formes hautement polymérisées, donc un complexe argilo-humique moins stable, et par conséquent, une augmentation des formes humiques peu polymérisées et relativement mobiles, qui seront en partie,

responsables des phénomènes de lessivage. Nous verrons que cette tendance va s'accroître au fur et à mesure que la pluviométrie augmente, et que la saison sèche est moins longue.

Nos conclusions ne rejoignent donc pas tout à fait celles de DUCHAUFOUR et DOMMERGUES (8), pour lesquels les sols subarides et les sols ferrugineux tropicaux seraient très comparables du point de vue constitution de l'humus. Nous observons beaucoup moins d'acides humiques gris dans les sols ferrugineux tropicaux que dans les sols subarides, et une augmentation des acides fulviques et des acides humiques bruns, quand on passe des sols subarides aux sols ferrugineux tropicaux ; précisons que nos données concernent le profil entier, alors que DUCHAUFOUR et DOMMERGUES n'ont étudié que l'horizon de surface.

Il nous a semblé préférable en effet de faire cette étude sur les profils complets, afin de mieux suivre et comprendre les variations de la matière organique avec la profondeur ; les données obtenues pour l'horizon de surface seul, ne reflètent qu'imparfaitement ce qui se passe dans le profil.

b - Les sols ferrugineux tropicaux lessivés

Ils diffèrent du groupe précédent en ce sens qu'on les rencontre sous des pluviométries beaucoup plus élevées : pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 900 et 1 400 mm. La couverture végétale est du type savane soudano-guinéenne et du type forêt claire sèche, avec un modelé amorti, à versants très doux ; le plus souvent, ces sols se trouvent sur roches acides : sables plus ou moins argileux, grès, granites, gneiss, etc..

Nous n'avons étudié que deux profils de ce type, prélevés tous deux au Sénégal, en Casamance, sous des pluviométries de 1 150 et 1 350 mm ; ces sols sont sur sables argileux et sur grès du Continental Terminal, leur position est de bon drainage, sur plateau et sur pente très faible.

Une ancienne jachère et une jachère à graminées les recouvrent ; ces profils sont assez profonds, environ 2 à 2,50 m. On peut distinguer dans le profil :

Horizon A₁, humifère, d'une vingtaine de cm, avec matière organique bien mélangée à la fraction fine, de couleur grise à gris-clair, à structure moyennement développée, à tendance grumelo-particulaire ; la matière organique montre très souvent des caractères d'engorgement temporaire d'hivernage ;

Horizon A₂ de couleur claire, beige, encore un peu humifère, lessivé en argile, en fer et en bases échangeables, de 20 cm environ, de structure faiblement développée ;

Horizon B₁, d'accumulation argileuse, de couleur beige à jaune-rougeâtre, à structure polyédrique, de compacité assez forte ;

Horizon B₂, d'accumulation ferrugineuse, avec apparition de concrétions ferrugineuses de couleur rouille ;

Horizon B₃, à concrétions très nombreuses de couleur rouge ; à ce niveau, très souvent se produit un net engorgement dû à une nappe perchée temporaire.

L'accumulation d'argile se fait à moins d'un mètre de profondeur dans l'horizon B₁ : de 10 % en surface, elle s'élève à 35-40 % dans l'horizon d'accumulation. Les pH sont variables, très voisins de la neutralité en surface, à peine un peu plus acides et relativement constants dans l'ensemble du profil ; le taux de saturation est assez élevé, 80 % en moyenne (R. FAUCK - 11).

Le taux de matière organique totale (Tableaux VII et IX) est plus élevé que dans les sols ferrugineux tropicaux non lessivés : l'horizon A₁ est relativement riche : 1,3 % en surface, mais ce taux décroît rapidement, en A₂ il n'est plus que de 0,7 %. L'horizon humifère est donc assez franché, comparativement aux sols vus précédemment. Ceci est dû à un apport important de débris végétaux à la surface, mais, vu les conditions climatiques, la décomposition est très rapide et il ne se maintient qu'une partie de cette matière organique en profondeur où ce taux n'est pas négligeable puisqu'il est encore de 0,4 %.

Tableau VII

Résultats analytiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés

Profils	Prof. cm	C total ‰	Humus total ‰	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
S ftl 1												
A1	0-10	6,13	2,67	43,5	1,30	0,24	0,33	0,18	0,62	14,2	7,2	16,0
A2	35-50	3,13	1,18	37,7	0,25	0,15	0,14	0,22	0,42	10,0	6,2	24,0
B1	70-80	3,97	1,27	32,0	0,19	0,13	0,14	0,34	0,47	9,3	6,7	39,5
B2	100-110	3,55	0,89	25,1	0,12	0,07	0,08	0,32	0,30	8,8	6,6	51,5
B3	150-160	2,94	0,72	24,5	0,08	0,02	0,06	0,28	0,28	7,8	6,6	48,5
S ftl 2												
A1	0-13	9,23	4,11	44,5	1,66	0,54	0,38	0,30	1,23	14,0	6,0	14,1
A2	15-25	3,95	1,67	42,3	0,40	0,19	0,21	0,30	0,57	9,4	5,7	13,1
B1	40-60	3,17	1,34	42,3	0,20	0,05	0,15	0,44	0,50	8,1	6,2	41,0
B2	90-110	2,82	1,11	39,4	0,16	0	0,07	0,41	0,47	7,2	6,3	49,5
B3	130-150	2,12	0,74	34,9	0,10	0	0,04	0,35	0,25	6,4	6,3	50,0

Tableau VIII

Résultats analytiques des sols faiblement ferrallitiques

Profils	Prof. cm	C total ‰	Humus total ‰	Humi-ficat. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
S ff 1												
A1	0-15	9,43	4,10	43,5	2,00	0,44	0,38	0,23	1,05	14,6	5,8	7,1
A2	20	3,58	1,48	41,3	0,70	0	0,11	0,23	0,44	11,3	5,3	11,5
B1	50	2,52	1,08	42,9	0,40	0	0,10	0,25	0,33	8,6	4,7	18,0
B2	85	2,27	0,78	34,4	0,19	0	0,07	0,26	0,26	8,5	4,9	28,5
B3	160	1,95	0,50	25,6	0,09	0	0,04	0,19	0,18	7,4	4,8	33,5
S ff 2												
A1	0-15	5,53	2,73	49,4	1,48	0,18	0,23	0,19	0,65	12,0	5,5	11,9
A2	15-25	3,11	1,47	47,3	0,74	0	0,11	0,21	0,41	10,7	4,8	15,0
B1	25-55	2,92	1,20	41,1	0,35	0	0,08	0,33	0,44	10,0	4,8	26,2
B2	80-90	2,76	0,81	29,3	0,15	0	0,05	0,33	0,28	7,8	4,9	42,2
B3	125-140	2,47	0,58	23,5	0,09	0	0,03	0,21	0,25	8,1	4,5	45,7

Le taux d'humification décroît régulièrement avec la profondeur, il varie de 44 à 29 %, l'humification est donc relativement bonne en surface, et se fait moins bien dans les horizons d'accumulation où les liaisons fer-argile sont plus étroites, semblant limiter la synthèse des acides humiques.

Les C/N sont assez élevés en surface : voisins de 14, la matière organique s'accumule dans cet horizon, qui parfois peut subir, en saison des pluies, un certain engorgement ; puis le rapport décroît régulièrement, ce qui indiquerait une bonne décomposition dans le reste du profil. L'activité biologique se caractérise par une nitrification forte, un dégagement de CO₂ faible ; il en résulte une minéralisation extrêmement rapide des produits organiques facilement décomposables, qui donnent une fertilité spontanée, élevée, mais les réserves étant faibles, les sols se dégradent rapidement (Y. DOMMERGUES - 7).

Composition de l'humus :

H₁ = Par rapport à l'ensemble du profil, le taux de H₁ s'élève à 22 % : il s'en formerait donc moins que dans les sols ferrugineux tropicaux non lessivés ; à l'intérieur du profil, la proportion diminue rapidement : 43 % en surface et 12 % en profondeur, on les trouve essentiellement en A₁, on peut donc penser que ce sont les premiers acides humiques qui prennent naissance.

H₂ = Ils sont en minorité par rapport aux autres composants humiques ; nous en trouvons cependant un peu dans l'horizon organique A (12 %), puis ce taux baisse rapidement (1 % en profondeur) ; les conditions du milieu ne favorisent pas leur formation, et empêchent la polymérisation, l'intensité des précipitations provoquant un entraînement de l'argile, du fer et des bases échangeables, ce qui réduit alors les liaisons possibles avec les composés humiques ; leur présence dans de tels sols est sans doute due au pH peu acide, et au taux de saturation assez élevé.

H₃ = On les retrouve pour tous les types de sols étudiés, toujours à peu près dans les mêmes proportions, 13 % dans ce cas pour l'ensemble du profil, la proportion diminuant avec la profondeur.

F₁ = En examinant les figures II et III, on constate l'importance, pour ce type de sol, de ces acides fulviques libres qui augmentent en profondeur d'une façon très nette, leur proportion par rapport aux autres composés humiques passe de 7 % en surface, à 43 % en profondeur.

Ces acides, extrêmement mobiles, migrent facilement dans le profil, et sont considérés comme les principaux agents du lessivage du fer et de l'argile qui sont entraînés sous forme de complexes mobiles (10).

F₂ = Ceux-ci sont également très importants : plus du tiers de l'ensemble des constituants humiques (35 %), avec un léger accroissement en profondeur (de 27 % en surface, à 38 % en B₂) ; concomitants avec les F₁, ils seraient aussi en partie responsables du lessivage du fer.

Avec ces sols, nous voyons donc apparaître, dans la composition de l'humus, une nette prédominance des acides fulviques sur les acides humiques, et dans ceux-ci une proportion plus importante d'acides humiques bruns que d'acides humiques gris :

- acides fulviques : 60,5 % ;
- acides humiques bruns : 21,9 % ;
- acides humiques gris : 17,6 %.

Nous supposons que les conditions d'engorgement temporaire que subissent ces sols en hivernage, ne peuvent faciliter la polymérisation, bien au contraire.

Nous concluons donc, qu'en climat plus humide, malgré un pH peu acide et un taux de saturation assez élevé, les fractions humiques les moins polymérisées dominent, la polymérisation ne pouvant aller jusqu'au stade acides humiques gris, pour lesquels certaines conditions climatiques et de milieu sont requises. Nous avons donc un rapport acides humiques/acides fulviques < 1, égal à 0,7, ce qui contraste avec les sols vus précédemment (figure V) ; par rapport aux sols ferrugineux tropicaux non lessivés, la proportion d'acides fulviques est plus importante, et celle des acides humiques bruns un peu inférieure. On peut donc penser que ces acides fulviques, vu leur importance, jouent un rôle certain dans les phénomènes de lessivage.

Les fractions très polymérisées diminuent d'importance, ce qui n'est pas en parfait accord avec les résultats obtenus par DOMMERGUES (8), pour lequel les acides humiques gris représentent encore dans l'horizon de surface, pour ce type de sol, 37 % de l'humus total ; nous n'en obtenons que 24 % par la méthode TIURIN que nous avons appliquée.

3 - LES SOLS FAIBLEMENT FERRALLITIQUES (12)

Nous n'avons étudié que deux profils de ce type, nous précisons qu'il s'agit d'un groupe particulier : les sols rouges faiblement ferrallitiques sur matériaux sablo-argileux du Continental Terminal. Nous reconnaissons, d'autre part, qu'établir des moyennes sur deux profils est sujet à critique. Dans un travail ultérieur, nous reprendrons l'étude de la matière organique de ce type de sol.

Ces deux profils ont été prélevés en Casamance (Sénégal) sous des pluviométries respectives de 1 500 et 1 350 mm (en une seule saison des pluies de cinq mois). Ils sont situés au sommet de pente, ou en position de crête bien drainée ; ils sont recouverts d'une forêt claire, du type soudano-guinéen, à tapis graminéen. Leur profondeur atteint 2,50 à 3 m ; bien que le profil soit peu différencié, ces sols sont caractérisés par la succession suivante d'horizons :

Horizon humifère A₁, de 15 cm environ, grisâtre, de texture sablo-légèrement argileuse, de structure grumeleuse assez stable ; porosité bonne ; très nombreuses racines ; horizon très travaillé par les organismes vivants ;

Un deuxième horizon organique A₂, encore faiblement humifère, de couleur beige-grisâtre, très peu épais, à texture sablo-argileuse, à structure mal définie ; cohésion faible ; porosité bonne.

Puis on passe aux horizons rouges de plus en plus colorés, qui peuvent être considérés comme un (B), avec les subdivisions suivantes :

(B₁) = horizon rouge-clair, à texture argilo-sableuse, à structure moyennement développée ; cohésion moyenne ; porosité bonne ;

(B₂) = horizon rouge, texture argilo-sableuse, nombreuses racines et canalicules, avec quelques revêtements argileux ; structure mal définie ; cohésion forte ; présence de quartz ;

(B₃) = horizon rouge assez vif ; texture argileuse nette ; présence de gros grains de quartz hyalins ; structure peu définie ; porosité assez bonne ; très nombreux canalicules ; activité biologique importante.

Au point de vue texture, ces sols sont sableux en surface (10 % d'éléments fins) ; en profondeur les teneurs en argile augmentent notablement, variant de 30 à 40 % (A + L) dans l'horizon (B₃), le plus argileux ; cette augmentation est très progressive, on n'observe pas d'individualisation d'un véritable horizon d'accumulation. La stabilité structurale est moyenne ; ces sols se caractérisent par la présence de pseudo-sables, c'est-à-dire de pseudo-agrégats cimentés par des sesquioxides de fer ; le drainage interne est meilleur que dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés, la pénétration des racines se fait mieux (R. MAGNIEN - 16).

Les pH de la surface sont à peu près identiques à ceux des ferrugineux tropicaux lessivés, voisins de 6,0, mais en profondeur les faiblement ferrallitiques sont plus acides, le pH descendant jusqu'à 4,7, la différence avec les ferrugineux tropicaux lessivés est donc de plus d'une unité pH.

Leur teneur en matière organique totale (Tableaux VIII et IX) est à peu près comparable à celle des ferrugineux tropicaux lessivés : 1,3 % en surface, mais cette teneur décroît encore plus rapidement avec la profondeur (figure 1), les C/N sont élevés en surface (de 15 à 18), la teneur en carbone est donc forte par rapport à celle de l'azote, ces sols forestiers sont caractérisés par une nitrification presque nulle, et une minéralisation de l'azote importante. Les taux d'humification sont tout à fait comparables à ceux des ferrugineux tropicaux lessivés : 45 % en surface, puis décroissance progressive pour atteindre 25 % en profondeur.

La répartition des différentes fractions humiques se fait de la façon suivante :

H₁ = Proportion très importante de cette fraction, représentant 50 % de l'humus total dans les horizons A₁ et A₂ ; il y a donc formation préférentielle de ces acides humiques bruns, qui à 1 m constituent encore 20 % de l'humus total. On remarque donc que les milieux acides sont favorables à la formation de ces H₁, que l'on retrouve d'ailleurs en pays tempéré dans la série podzolique.

H₂ = Ils deviennent presque inexistants, on n'en trouve qu'en A₁ seulement, et encore ne représentent-ils que 10 % de l'humus total. L'horizon de surface étant mieux tamponné et plus riche en bases, ils peuvent se former dans cet horizon riche, mais en profondeur ils disparaissent complètement ; le milieu trop acide ne paraît guère favorable à la polymérisation.

H₃ = Ils sont aussi en proportions réduites, 8 % seulement pour l'ensemble du profil et leur teneur décroît régulièrement avec la profondeur.

F₁ = Proportion faible en surface, 6 % seulement, mais la teneur augmente avec la profondeur, ce qui laisse supposer aussi ici que ces AF migrent dans le profil très facilement. On peut donc penser qu'en saison des pluies, ou tout de suite après, dès que le matériau végétal nouvellement formé commence à se dégrader, ce sont ces premiers composés humiques qui se formeront. En effectuant les déterminations en cours de saison des pluies, il est probable que l'on trouvera autant de F₁ en surface qu'en profondeur ; il nous paraîtrait donc intéressant de suivre cette évolution au cours de l'année, car vraisemblablement il doit y avoir d'importantes variations dans la constitution de l'humus au cours de la saison des pluies, puis en cours de saison sèche.

Nos prélèvements ayant été faits en saison sèche, environ deux mois après la fin des pluies, on peut donc estimer que la matière organique ainsi analysée ne représente qu'un état statique du sol.

F₂ = Ils sont plus importants que les F₁, représentant déjà le quart de l'humus en surface, la teneur en valeur absolue décroît régulièrement, mais la proportion relative augmente, atteignant 40 % en profondeur. Leur répartition ainsi que celle des F₁, est tout à fait comparable à celle observée pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés.

Tableau IX

Teneurs moyennes et pourcentages des différentes fractions humiques, pour les sols ferrugineux tropicaux et faiblement ferrallitiques

Type de sol	Prof. cm	C total ‰	MH ‰	Humif. %	H ₁	H ₂	H ₃	F ₁	F ₂	C/N	pH	A + L %
Sol ferrugineux tropical non lessivé	A ₁	0-15	2,14	1,09	50,9	0,49	0,19	0,11	0,19	9,7	6,0	4,4
	A ₂	15-45	1,34	0,78	58,2	0,31	0,16	0,08	0,10	9,0	5,6	6,9
	B	45-85	1,15	0,62	53,9	0,16	0,13	0,10	0,11	7,4	5,5	10,5
	C	100	0,88	0,43	48,9	0,10	0,06	0,08	0,11	6,4	5,4	12,8
	A ₁			100	44,9	17,4	10,1	10,1	17,5			
	A ₂			100	39,7	20,5	10,3	12,8	16,7			
	B			100	25,8	21,0	16,1	17,7	19,4			
	C			100	23,3	13,9	18,6	18,6	25,6			
Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions	A ₁	0-10	7,68	3,40	44,3	1,48	0,39	0,36	0,24	14,1	6,6	15,1
	A ₂	10-50	3,54	1,44	40,7	0,33	0,17	0,18	0,26	9,7	6,0	18,2
	B ₁	50-75	3,57	1,32	37,0	0,20	0,09	0,15	0,39	8,7	6,5	40,7
	B ₂	75-130	3,19	1,02	32,0	0,14	0,04	0,08	0,37	8,0	6,4	50,5
	B ₃	150	2,53	0,74	29,2	0,09	0,01	0,05	0,32	7,1	6,4	49,3
	A ₁			100	43,5	11,5	10,6	7,0	27,4			
	A ₂			100	22,9	11,8	12,5	18,1	34,7			
	B ₁			100	15,2	6,8	11,4	29,5	37,1			
Sol faiblement ferrallitique	B ₂			100	13,7	3,9	7,8	36,3	38,3			
	B ₃			100	12,2	1,4	6,8	43,2	36,4			
	A ₁	0-15	7,48	3,42	45,7	1,74	0,31	0,31	0,21	13,4	5,6	9,5
	A ₂	15-25	3,35	1,48	44,2	0,72	0	0,11	0,22	11,0	5,1	13,2
	B ₁	25-65	2,72	1,15	42,3	0,38	0	0,09	0,29	9,3	4,8	22,1
	B ₂	65-105	2,52	0,80	31,7	0,17	0	0,06	0,30	8,2	4,9	35,3
	B ₃	145	2,21	0,55	24,9	0,09	0	0,04	0,20	7,7	4,6	39,6
	A ₁			100	50,9	9,1	9,1	6,1	24,8			
Sol faiblement ferrallitique	A ₂			100	48,7	0	7,4	14,9	29,0			
	B ₁			100	33,0	0	7,8	25,2	34,0			
	B ₂			100	21,3	0	7,5	37,5	33,7			
	B ₃			100	16,4	0	7,3	36,3	40,0			

Du fait de la proportion relativement importante de H_1 , le rapport acides humiques/acides fulviques est de 0,8 environ (figure V), légèrement supérieur à celui des ferrugineux tropicaux lessivés ; quant au rapport fractions liées/fractions mobiles (figure VI), il est extrêmement faible, de 0,12 seulement, ce qui montre que le milieu est vraiment peu favorable à la polymérisation, la plus grande part des composés humiques s'arrêtant dans leur formation au stade préhumique, et acides humiques bruns.

Nous observons donc une grande similitude entre la nature de l'humus des sols ferrugineux tropicaux lessivés, et celle des sols faiblement ferrallitiques (groupe des sols rouges) ; nous ferons remarquer cependant que l'horizon humifère ($A_1 + A_2$) est beaucoup moins important dans les sols faiblement ferrallitiques que dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés, et que la fraction H_2 devient pratiquement inexistante dans les premiers, si ce n'est dans l'horizon de surface.

Si les fractions humiques libres sont responsables en partie du lessivage du fer et de l'argile dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés, par contre dans le cas des sols faiblement ferrallitiques, l'altération étant plus poussée, fer et argile sont combinés : "le fer se répartit de façon homogène en saturant peu à peu les surfaces de la kaolinite, il y a formation de complexes ordonnés" (R. MAIGNIEN - 16), ce qui limite les possibilités de lessivage, les fractions humiques n'ayant alors qu'une action très faible sur le fer et l'argile, ne peuvent les entraîner.

Tableau X
Indices des teneurs globales en matière organique totale et en humus,
calculées pour les profils entiers

Type de sols	C total	Humus total	Humif. %	H_1	H_2	H_3	F_1	F_2
Sols bruns argileux (100 cm)	46,37	28,69	62	1,05 3,6 %	20,00 69,8 %	3,89 13,6 %	1,33 4,6 %	2,42 8,4 %
Sols bruns sur sables (100 cm)	8,87	5,56	63	0,60 10,8 %	3,29 59,2 %	0,67 12,0 %	0,37 6,7 %	0,63 11,3 %
Sols brun-rouge sur sables (115 cm)	10,32	5,66	55	1,00 17,7 %	2,46 43,4 %	0,86 15,2 %	0,62 11,0 %	0,72 12,7 %
Sols ferrugineux tropicaux non lessivés (110 cm)	14,03	7,53	54	2,56 34,0 %	1,43 19,0 %	1,01 13,4 %	1,10 14,6 %	1,43 19,0 %
Sols ferrugineux tropicaux lessivés (150 cm)	53,37	19,55	37	4,25 21,8 %	1,53 7,8 %	2,00 10,2 %	4,93 25,2 %	6,84 35,0 %
Sols faiblement ferrallitiques (145 cm)	44,37	16,61	37	5,89 35,5 %	0,46 2,8 %	1,34 8,0 %	3,70 22,3 %	5,22 31,4 %

Les chiffres mentionnés représentent un indice de matière organique, compte-tenu de l'épaisseur des différents horizons.

Exemple de calcul :

Carbone total des sols bruns argileux :

$$\begin{aligned}
 \text{C \% dans } A_1 (0-20 \text{ cm}) &= 0,730 \times 20 = 14,600 \\
 \text{" } A_2(20-30 \text{ cm}) &= 0,544 \times 10 = 5,440 \\
 \text{" } A_3(30-80 \text{ cm}) &= 0,439 \times 50 = 21,950 \\
 \text{" } C (80-100 \text{ cm}) &= 0,219 \times 20 = 4,380
 \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 46,37$$

Notons que cet indice, multiplié par les densités des différents horizons du sol, permettrait de calculer le poids de matière organique de l'ensemble d'un profil de volume déterminé.

Cet indice, divisé par la hauteur des profils, permet de connaître les taux moyens de matière organique dans l'ensemble du profil.

III - CONCLUSION

Les types de sols étudiés, se classant sous une forme logique, nous adopterons l'ordre suivant, correspondant au passage progressif du domaine subaride au domaine faiblement ferrallitique, autrement dit d'une pluviométrie allant de 400 mm à 1 500 mm, et d'un taux d'humification passant de 62 % à 37 % :

- sols bruns subarides argileux ;
- sols bruns subarides sur sables ;
- sols brun-rouge subarides sur sables ;
- sols ferrugineux tropicaux non lessivés ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés ;
- sols faiblement ferrallitiques.

Si l'on considère les indices des teneurs globales en matière organique, calculées pour l'ensemble du profil (Tableau X), nous observons que les sols subarides et ferrugineux tropicaux non lessivés formés sur sables ont une teneur moyenne en carbone total très inférieure à celle des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols faiblement ferrallitiques ; par contre, les types de sols formés sur matériau argileux sont bien pourvus en matière organique. Nous pouvons donc conclure que l'accumulation de matière organique semble dépendre à la fois des conditions climatiques (la végétation étant une fonction directe de la pluviométrie) et des caractéristiques texturales du sol ; il semble évident qu'un sol formé sur sables en zone subaride sera forcément très pauvre en matière organique, alors qu'un sol formé sur matériau plus ou moins argileux en zone ferrallitique aura toute chance d'avoir un taux relativement élevé. Dans le cas des sols bruns subarides argileux, l'influence de la roche-mère l'emporte sur le climat : la matière organique est aussi importante que dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols faiblement ferrallitiques.

De même l'humification (taux d'humus par rapport à la matière organique totale) semble dépendre directement des conditions climatiques et de certaines conditions intrinsèques du sol. C'est ainsi que les sols bruns, que l'on ne peut pas considérer comme climatiques, leur formation étant déterminée par un certain matériau originel (plus ou moins calcaire) ou une certaine position topographique entraînant un drainage souvent déficient, ont un taux d'humification très élevé (62 % pour les sols bruns argileux, 63 % pour les sols bruns sur sables).

Les sols brun-rouge et les sols ferrugineux tropicaux non lessivés qui se forment dans des zones climatiques très peu différentes, ont un taux d'humification très voisin : 55 % pour les brun-rouge, 54 % pour les ferrugineux tropicaux non lessivés. Dans des zones beaucoup plus pluvieuses, zone des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols faiblement ferrallitiques, le taux d'humification diminue notablement : il n'est plus que de 37 %. Il est très probable et même certain, que ce taux doit s'abaisser dans le domaine ferrallitique proprement dit, où la pluviométrie est plus forte, et l'écart entre les saisons moins tranché. Car cette formation de l'humus est bien conditionnée par une alternance de la saison sèche et de la saison des pluies (14) ; il a été prouvé en effet que ce cycle favorisait la polymérisation des fractions humiques, qui se dégradent moins facilement une fois hautement polymérisées et fortement liées à la fraction minérale. Par contre un climat humide en permanence ne peut conduire qu'au stade préhumique, c'est-à-dire à la formation des acides fulviques, plus sensibles à la dégradation du fait de la constitution de leurs chaînes, beaucoup moins longues que celles des acides humiques gris en particulier.

En examinant les proportions relatives des différentes fractions humiques pour chacun des types de sols (Figures IV a et b), nous constatons un ordre croissant ou décroissant suivant qu'il s'agit d'acides fulviques ou d'acides humiques, en respectant toujours l'ordre choisi et déterminé de classement des différents types de sols :

- pour les acides fulviques, qu'il s'agisse des acides fulviques F1 ou F2 l'ordre est le même : quand la pluviométrie augmente, leur proportion augmente. Nous savons que les acides fulviques sont les premières fractions humiques qui se forment dans le sol, lors de la décomposition de la matière organique fraîche. On peut donc supposer que dans les sols subarides, ou bien ces acides fulviques sont rapidement transformés en acides humiques (par polymérisation et néosynthèse) (18), ou bien ils sont rapidement décomposés et minéralisés. Nous pensons que les deux phénomènes jouent et se surajoutent l'un à l'autre, ce qui laisse finalement une faible proportion d'acides fulviques dans les profils de sols subarides. Lorsque nous abordons des régions plus arrosées, la matière organique se décompose tout aussi rapidement qu'en zone subaride, mais une plus grande quantité d'acides fulviques est formée ; ceux-ci n'ont pas la possibilité de se transformer en acides humiques gris, mais s'arrêtent à un stade peu avancé, celui des acides humiques bruns H1 ; il est vraisemblable qu'il s'en décompose aussi une bonne partie, la minéralisation de la matière organique étant très élevée en pays tropical.

- pour les acides humiques bruns, nous observons le même phénomène que pour les acides fulviques : leur taux est très faible pour les sols du domaine subaride, car ces acides humiques, ou ne se forment pas dans un tel milieu, ou sont vraisemblablement polymérisés assez rapidement du fait de certaines conditions (milieu saturé et riche en Ca, favorisant la synthèse des acides humiques gris) ; un milieu acide étant très favorable par contre à la formation de ces acides humiques bruns, nous les retrouvons en proportion importante dans les sols acides (ferrugineux tropicaux et ferrallitiques).

- pour les acides humiques gris (H2 et H3), nous observons une décroissance très nette quand on passe du domaine subaride au domaine ferrallitique, le milieu calcique des bruns et brun-rouge provoquant la formation des acides humiques H2, alors qu'en milieu acide ceux-ci ne peuvent plus se former. Par contre les acides humiques H3 se retrouvent à peu près dans les mêmes proportions pour les divers types de sols étudiés ; ces acides humiques étant liés au fer et à l'alumine, on peut estimer que l'individualisation du fer, générale à tous ces sols, et caractéristique du milieu tropical, peut être la cause de certaines liaisons humus-fer, ne se différenciant pas quand on passe d'un type de sol à l'autre.

D'une façon générale et très schématique, le passage du domaine subaride au domaine ferrallitique est caractérisé par une diminution progressive des acides humiques, et par une augmentation des acides fulviques, c'est-à-dire que l'augmentation de la pluviométrie entrave la polymérisation des fractions humiques, et le milieu calcique favorise la formation des acides humiques gris ; on peut donc se demander quelles fractions humiques prédomineraient l'une par rapport à l'autre dans un type de sol comme les argiles noires tropicales (de la zone tropicale humide). Il est vraisemblable que nous aurions affaire à un humus du type calcique, car les argiles noires pouvant être considérées comme des sols azonaux, l'influence du milieu sera prédominante par rapport à l'influence climatique.

De même, si nous observons la proportion relative entre les fractions humiques stables et très polymérisées (acides humiques gris : H2 + H3) et les fractions mobiles faiblement polymérisées (Figure VI), il y a une diminution régulière des premières aux secondes, quand on passe du domaine subaride au domaine ferrallitique : la pluviométrie s'accroissant, accentue le lessivage, provoquant une certaine acidité, favorable à la formation des fractions fulviques.

Les relations entre les différents types de sols étudiés peuvent s'expliquer à l'examen de la fraction organique de ces sols.

Les sols bruns subarides peuvent être considérés comme étant le cas extrême du domaine subaride, si, comme l'affirme R. MAIGNIEN, les sols brun-rouge sont spécifiquement liés aux conditions climatiques.

Le sol brun-rouge serait donc climatique, et le sol brun ne serait qu'un cas particulier de ce type, ce qui, du point de vue constitution de la matière organique, s'explique aisément, les sols bruns apparaissant avec des caractères plus poussés que les sols brun-rouge, à savoir un taux très élevé d'acides humiques H2 par rapport aux autres fractions constitutives de l'humus.

Si nous voulons établir une comparaison entre les sols brun-rouge et les sols ferrugineux tropicaux, nous pouvons dire, avec BOCQUIER et GAVAUD (5), sur simple comparaison de la matière organique, que "la pédogenèse des sols subarides brun-rouge est une atténuation de celle des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, due à une réduction progressive de la pluviométrie", c'est bien ce que nous montre la constitution de la matière organique, avec une diminution progressive de la teneur en acides humiques gris, et une augmentation des fractions fulviques et acides humiques bruns.

Quant au domaine ferrugineux tropical, il représente apparemment un certain équilibre, en transition entre le domaine subaride et le domaine ferrallitique, ceci par la seule observation des différentes fractions humiques. Pour ces sols, nous observons des proportions équilibrées entre les différentes fractions, avec simplement une prédominance des acides humiques bruns H₁, qui peuvent être considérés comme un intermédiaire entre les acides fulviques (prédominants dans le domaine ferrallitique) et les acides humiques gris (prédominants dans le domaine subaride).

La méthode de fractionnement des composés humiques est donc satisfaisante puisqu'elle met en évidence les différences fondamentales entre les divers types de sols étudiés.

Nous venons d'essayer de préciser les relations de ces types de sols entre eux, vues sous l'angle de la matière organique ; nous ferons quelques remarques quant à la place respective de chacun de ces types de sols dans la classification française actuelle (1).

Nous constatons tout d'abord que les sols subarides sont rangés dans le groupe sols bruns arides, faisant partie de la classe isohumique. La définition de cette classe ne semble pas assez restrictive, car nous remarquons que les sols ferrugineux tropicaux non lessivés ont eux aussi une teneur progressivement décroissante de la matière organique, tout à fait analogue à celle des sols brun-rouge sur sables. Seule une végétation forestière conduit à une répartition différente de la matière organique, avec un horizon supérieur de 10 à 15 cm relativement riche par rapport aux horizons sous-jacents. Il nous semble donc qu'une végétation de savane, pour des conditions climatiques somme toute pas très différentes, soit à l'origine d'une répartition régulièrement décroissante de la matière organique dans le profil, qu'il s'agisse de sols subarides ou de sols ferrugineux tropicaux.

De même la classe suivante (classe VI) caractérisée par un humus évolué (sols à mull) ne nous paraît pas assez limitative dans sa définition, attendu qu'un bon nombre de sols, en particulier ceux du type calcique dont les sols bruns arides, ont un humus évolué, comme d'ailleurs les sols ferrugineux tropicaux.

Il nous paraît donc difficile de prendre, comme critère au niveau de la classe, les caractères de la matière organique, celle-ci étant très nettement conditionnée par le milieu climatique comme l'ont souligné DUCHAUFOR et DOMMERGUES (8).

Nous ajouterons par ailleurs un caractère qui peut être intéressant à mentionner au niveau du groupe, et éventuellement de la sous-classe, à savoir l'augmentation du taux d'humification avec la profondeur, qui semble nettement en relation avec un humus calcique. Celui-ci correspondrait à une décomposition et à une humification sur place, et non à une migration des composés humiques formés dans les horizons supérieurs.

Nous avons relevé ce caractère pour les sols subarides, nous l'avons observé également pour les tirs (17), rangés actuellement dans la classe des vertisols.

En accord avec DUCHAUFOR et DOMMERGUES (8) qui constatent à regret que chernozems et vertisols ne soient pas classés dans le même ordre, nous remarquons qu'entre sols subarides et vertisols il y a une certaine analogie de constitution de la matière organique, que nous pensons pouvoir préciser dans un travail ultérieur.

Nous insistons sur le fait que cette étude est purement statique, les analyses ayant été faites sur des prélèvements effectués en saison sèche ; il serait certainement très intéressant de suivre l'évolution de la matière organique au cours de l'année, principalement pendant la saison des pluies, période durant laquelle les transformations de la matière organique doivent être assez importantes, et sans doute assez rapides, pour se stabiliser au cours de la saison sèche ; c'est cet état relativement stable que nous avons essayé de saisir et de définir.

Hann, juin 1964

IV - BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AUBERT (G.) - La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. Colloque CCTA-FAO ; Léopoldville, 1963.
- 2 - AUDRY (P.) - Etude pédologique du cercle du Guidimaka (Mauritanie). Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann ; Rapport ORSTOM, juin 1961.
- 3 - AUDRY (P.) - Etude pédologique du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra Djolof (Sénégal). Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann ; Rapport ORSTOM, décembre 1962.
- 4 - BACHELIER (G.) - Influence du climat sur les processus pédobiologiques de l'humification et de la déshumification. *Pédobiologia*, Bd 2, 1963.
- 5 - BOCQUIER (G.) et GAVAUD (M.) - Etude pédologique du Niger oriental. Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann (Sénégal). Rapport ORSTOM, février 1964.
- 6 - BOCQUIER (G.) et MAIGNIEN (R.) - Les sols bruns subarides tropicaux d'Afrique de l'Ouest - Colloque CCTA-FAO ; Léopoldville 1963.
- 7 - DOMMERGUES (Y.) - Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Thèse, Faculté des Sciences de Paris, mai 1962.
- 8 - DUCHAUFOUR (P.) et DOMMERGUES (Y.) - Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux. *Sols africains*. 1963, vol. 8, n°1.
- 9 - DUCHAUFOUR (P.) - Précis de Pédologie. *Masson et Cie éditeurs*, Paris, 1960.
- 10 - DUCHAUFOUR (P.) - Note sur le rôle du fer dans les complexes argilo-humiques. *C.R. Ac. Sc.* 1963, 256, 12, 2657-61.
- 11 - FAUCK (R.) - Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. Colloque CCTA-FAO ; Léopoldville 1963.
- 12 - FAUCK (R.) - Les sols rouges faiblement ferrallitiques d'Afrique Occidentale. VIIIème Congr. international. Science du Sol, Bucarest (Roumanie), 1964.
- 13 - GRIM (R.E.) - Clay Mineralogy. *New-York*, 1953.
- 14 - JACQUIN (F.) - Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. Thèse, Faculté des Sciences de Nancy, 1963.
- 15 - MAIGNIEN (R.) - Les sols subarides au Sénégal. Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann. Rapport ORSTOM, février 1959.
- 16 - MAIGNIEN (R.) - Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions S-W du Sénégal. Centre de Recherches Pédologiques de Dakar-Hann. Rapport ORSTOM, juillet 1961.
- 17 - THOMANN (C.) - Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. *Cahiers ORSTOM, Pédologie*, n° 3, 1963.
- 18 - TIURIN (I.V.) et KONONOVA (M.M.) - Biology of humus formation and questions of soil fertility. Reports to the International Conference of Soil Scientists, New Zealand, 1962.

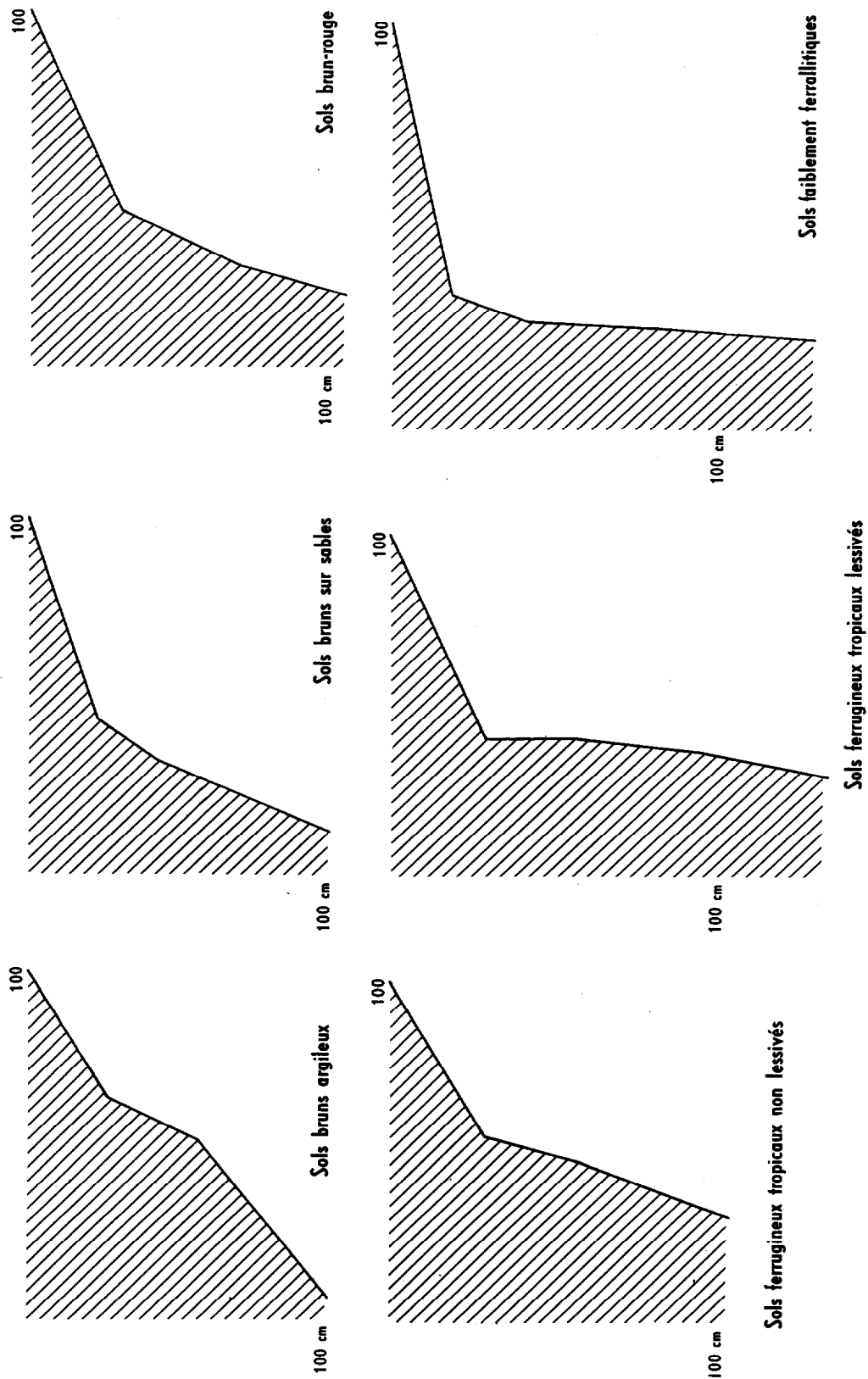


Figure 1 : Carbone total

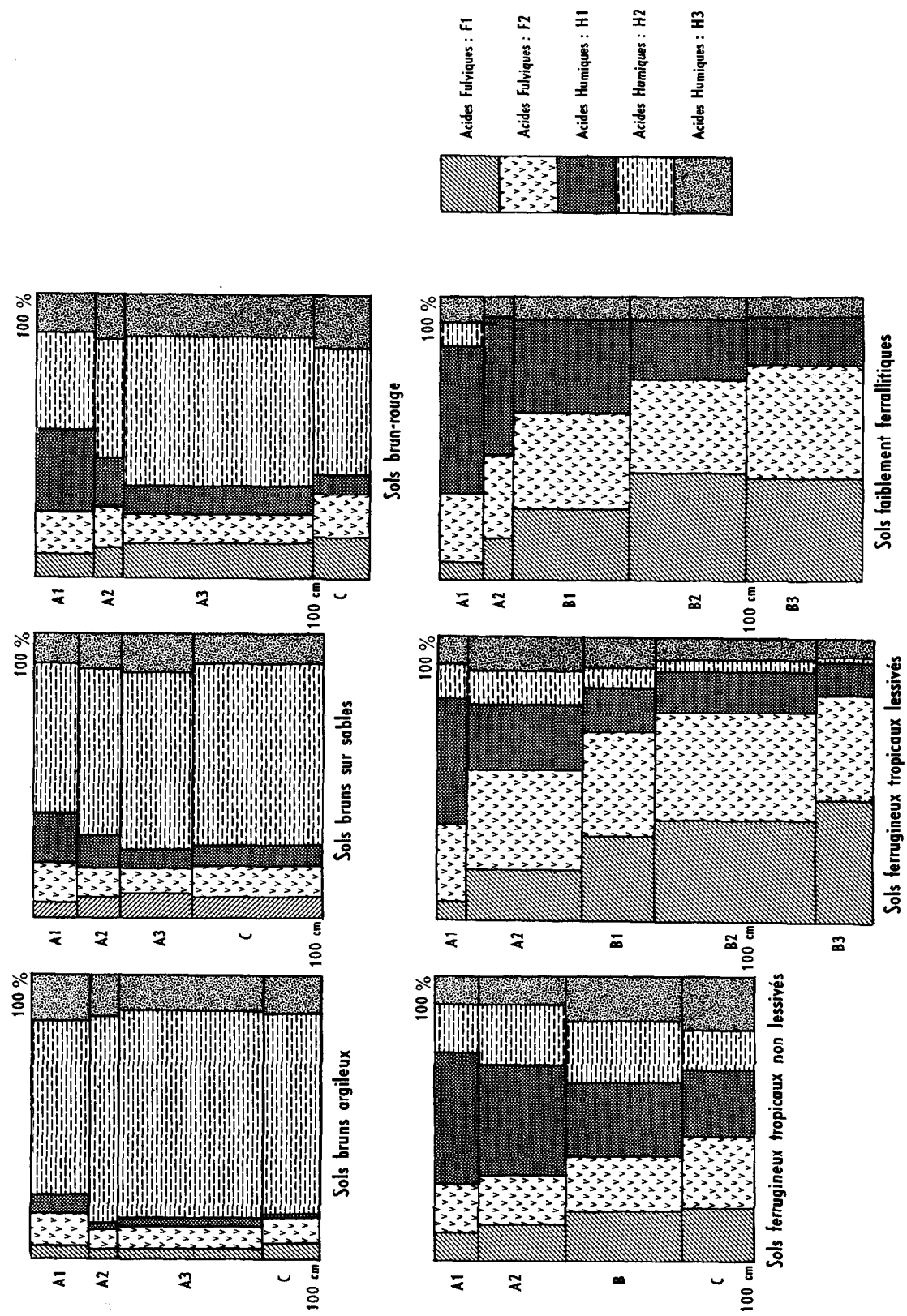


Figure II : Pourcentages des différentes fractions humiques pour chaque type de sol (Ramenés à 100 par rapport à l'humus total de chaque horizon).

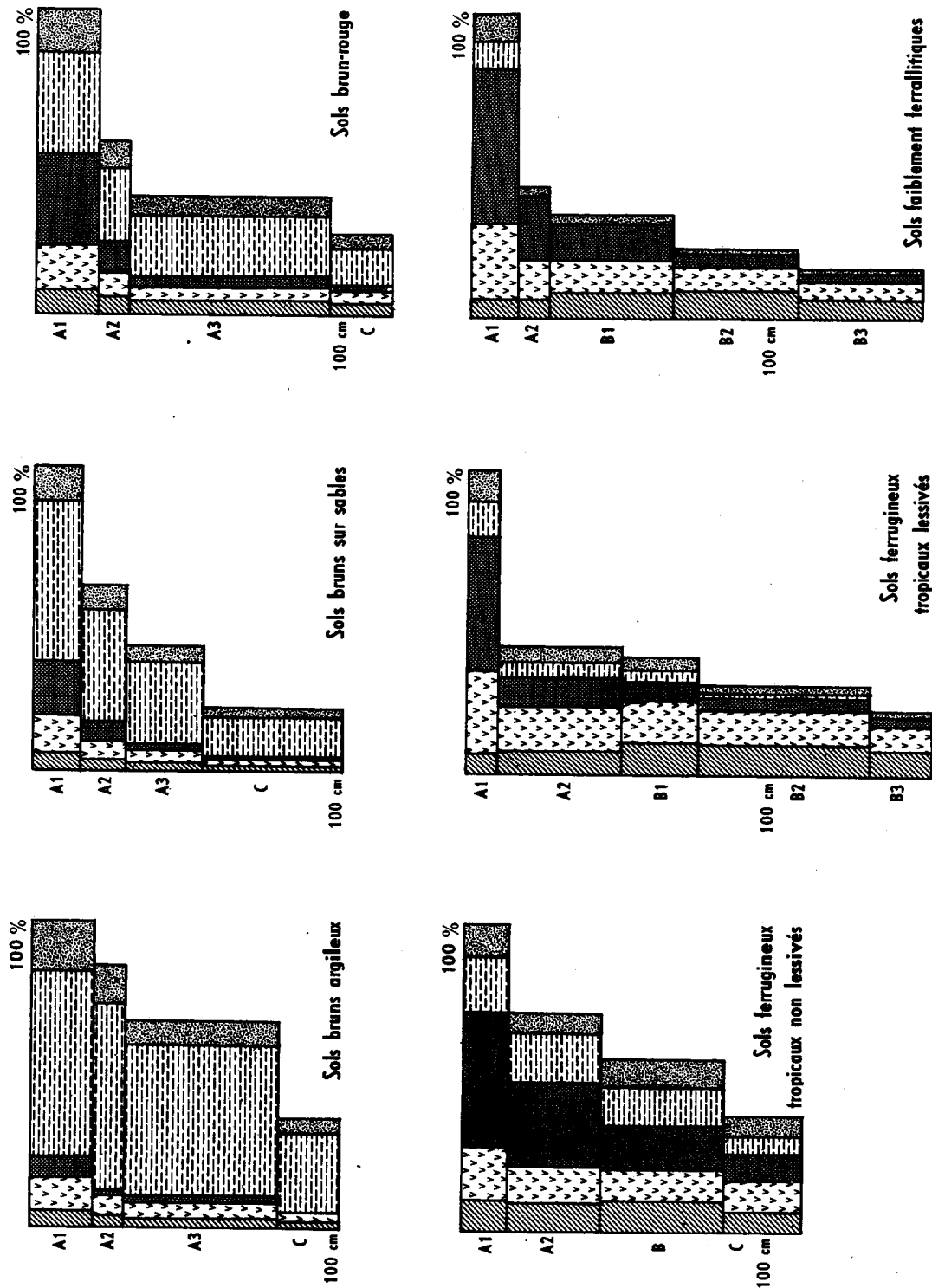


Figure III : Pourcentages des différentes fractions humiques pour chaque type de sol (Ramenés à 100 par rapport à l'humus total de l'horizon de surface).

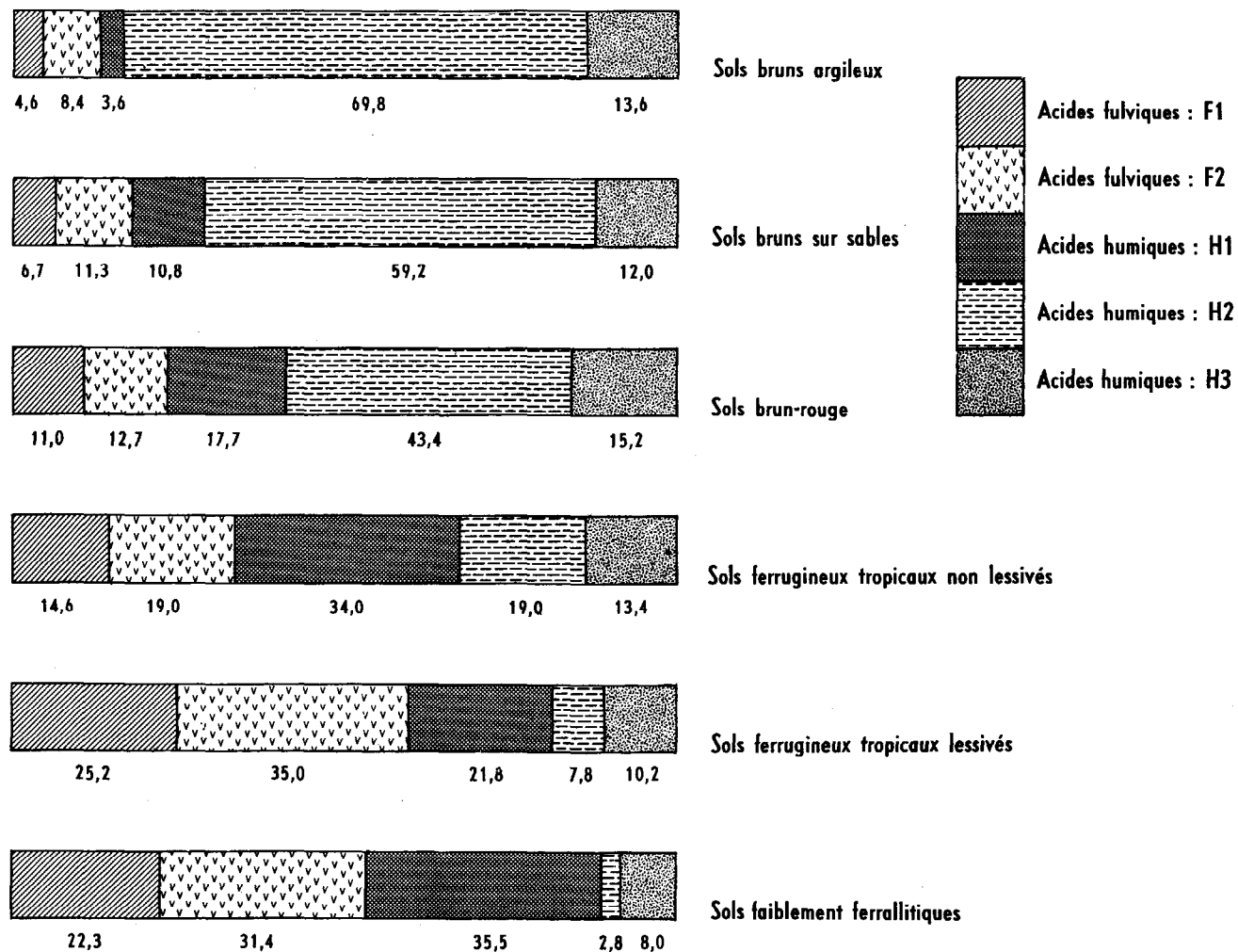


Figure IV a : Pourcentages des différentes fractions humiques par rapport à l'humus total pour l'ensemble du profil moyen de chaque type de sol.

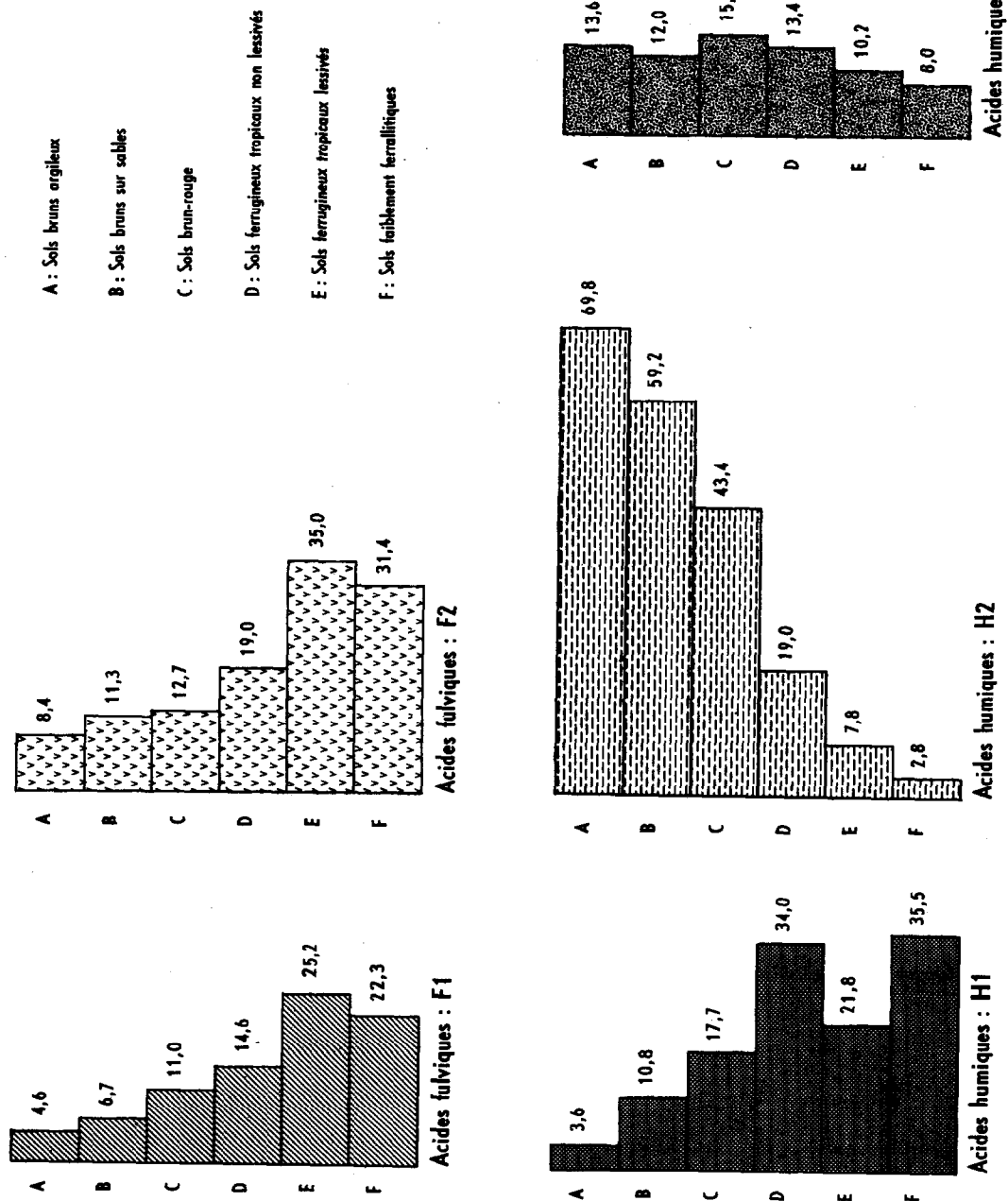
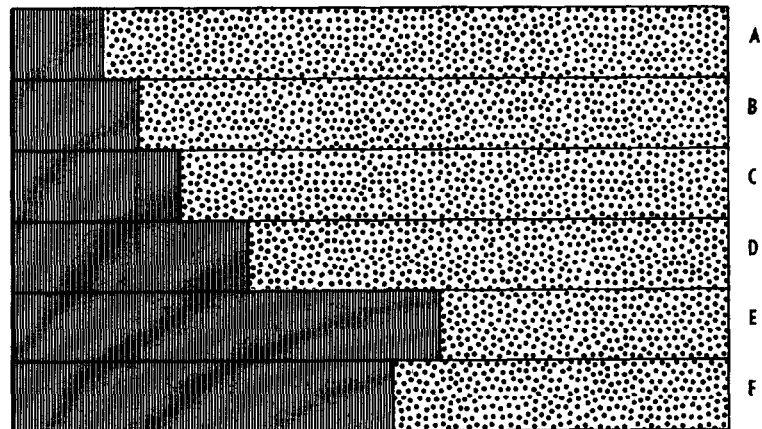


Figure IV b : Pourcentages des différentes fractions humiques par rapport à l'humus total pour l'ensemble du profil moyen de chaque type de sol.



Rapport : $\frac{\text{Acides humiques}}{\text{Acides fulviques}}$

A : Sols bruns argileux	A = 6,7
B : Sols bruns sur sables	B = 4,6
C : Sols brun-rouge	C = 3,2
D : Sols ferrugineux tropicaux non lessivés	D = 2,0
E : Sols ferrugineux tropicaux lessivés	E = 0,7
F : Sols faiblement ferrallitiques	F = 0,9



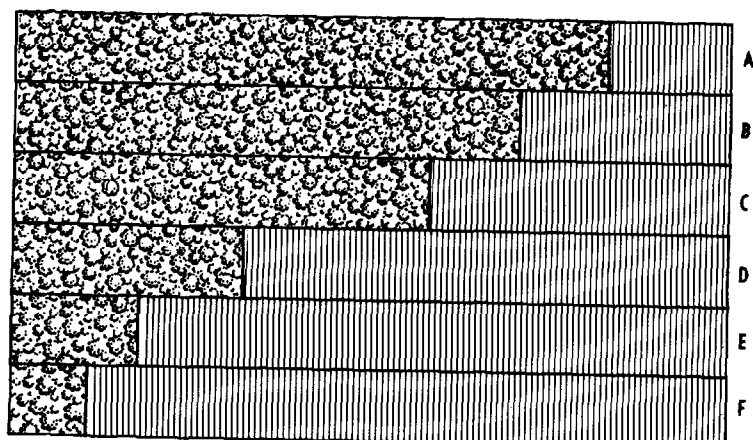
 = Acides fulviques (F1 + F2)
 = Acides humiques (H1 + H2 + H3)

Figure V : Proportions relatives des acides fulviques et humiques pour chaque type de sol.



Rapport : $\frac{H2 + H3}{H1 + F1 + F2} = \frac{\text{Fractions stables et très polymérisées}}{\text{Fractions mobiles faiblement polymérisées}}$

A : Sols bruns argileux	A = 5,0
B : Sols bruns sur sables	B = 2,5
C : Sols brun-rouge	C = 1,4
D : Sols ferrugineux tropicaux non lessivés	D = 0,5
E : Sols ferrugineux tropicaux lessivés	E = 0,2
F : Sols faiblement ferrallitiques	F = 0,1

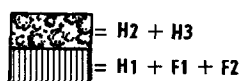


Figure VI : Proportions relatives des fractions humiques polymérisées et des fractions humiques mobiles pour chaque type de sol.